



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Laboratorio de Sistemas Inteligentes

**SISTEMA LOCOMOTOR Y DE
LOCALIZACIÓN DE UN MICROROBOT
(EUROBOT 2009)**

PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

Autor: Alberto López Valverde
Tutor: José María Armingol Moreno

AGRADECIMIENTOS

La realización de este proyecto solo ha sido posible gracias a la colaboración de muchas personas, sin las cuales no habría sido posible realizar este sueño.

En primer lugar quiero darle las gracias a José María Armingol, que me dio la oportunidad de embarcarme en este proyecto, y con él cumplir un sueño.

Gracias a los técnicos de laboratorio Fernando, Jose y especialmente a Gullie. Gracias por vuestra ayuda e infinita paciencia, y gracias por hacer que me sienta aun más orgulloso del camino que estoy siguiendo.

No puedo olvidarme de mis compañeros de equipo: Laura, Diego, Estrella y Viki. Hoy puedo estar escribiendo estas líneas gracias a su esfuerzo e ilusión en este proyecto. No solo he conocido cuatro grandes ingenieros, sino cuatro amigos más.

Y por supuesto, agradezco a mi familia todo el apoyo y ánimos que me han dado para poder llegar hasta aquí. Sin esa energía no podría haber llegado tan lejos.

Les doy las gracias a mis inseparables amigos, por estar conmigo mientras recorro este camino y por aguantarme en los peores momentos.

Este proyecto es vuestro.

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	7
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO	11
2. ESTADO DEL ARTE	15
2.1 ROBÓTICA	15
2.1.1 <i>Reseña histórica</i>	16
2.1.2 <i>Robótica actual</i>	18
2.1.3 <i>Clasificación y tipos</i>	19
2.2 LOCOMOCIÓN EN ROBÓTICA	20
2.2.1 <i>Tracción diferencial</i>	22
2.2.2 <i>Triciclo</i>	24
2.2.3 <i>Dirección Ackerman</i>	25
2.2.4 <i>Locomoción síncrona</i>	27
2.2.5 <i>Otros sistemas</i>	28
2.3 LOCALIZACIÓN EN ROBÓTICA	35
2.3.1 <i>El problema de la localización</i>	36
A. <i>Sistemas de estimación de la posición explícitos</i>	37
B. <i>Sistemas de percepción del entorno</i>	45
2.4 EUROBOT	49
2.4.1 <i>Pruebas anteriores</i>	50
3 PROBLEMA Y SOLUCIÓN	56
3.1 LA PRUEBA 2009: LOS TEMPLOS DE ATLANTIS	56
3.2 ELEMENTOS DE JUEGO	57
3.2.1 <i>Piezas de juego</i>	57
3.2.2 <i>Campo de juego</i>	58
3.2.3 <i>Puntuación</i>	64
3.2.4 <i>Los robots</i>	67
3.3 SOLUCIÓN	70

4	MÓDULO 1: MANIPULACIÓN	73
4.1	ESTRUCTURA	73
4.2	SISTEMA DE RECOJIDA	75
4.3	SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN INTERIOR	78
4.4	SISTEMA DE EDIFICACIÓN	83
5	MÓDULO 2: BLOQUE PRINCIPAL	85
5.1	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	85
5.1.1	<i>Fuente de energía</i>	85
5.1.2	<i>Electrónica de potencia</i>	89
5.1.3	<i>Placa de drivers</i>	90
5.2	SISTEMA DE CONTROL	93
6	MÓDULO 3: LOCOMOCIÓN	95
6.1	CONFIGURACIÓN	95
6.2	TRACCIÓN	97
6.2.1	<i>Motores</i>	97
6.2.2	<i>Ruedas</i>	99
6.2.3	<i>Reparto de pesos</i>	101
7	MÓDULO 4: SISTEMA SENSORIAL Y DE LOCALIZACIÓN	102
7.1	SENSORES	102
7.2	SISTEMA DE LOCALIZACIÓN	110
8	ESTRATEGIA	115
8.1	PROGRAMA PRINCIPAL	115
8.2	RUTINA DE EVASIÓN	117
9	CONCLUSIONES Y MEJORAS	118
9.1	CONCLUSIONES	118
9.2	MEJORAS	119
10	PRESUPUESTO	120
10.1	COSTE DE MATERIAL	120
10.1.1	<i>Estructura</i>	120
10.1.2	<i>Sistema de construcción</i>	121
10.1.3	<i>Sistema electrónico y de control</i>	121
10.1.4	<i>Sistema locomotor</i>	122
10.1.5	<i>Campo de pruebas</i>	123
10.2	COSTE DE PERSONAL	123
10.3	PRESUPUESTO TOTAL	123

11 BIBLIOGRAFÍA	124
11.1 RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS	124
11.2 RECURSOS ELECTRÓNICOS	125
12 ANEXOS	126

Índice figuras:

Figura 2.1: Sistemas de locomoción por ruedas.....	21
Figura 2.2: Centro instantáneo de rotación.....	22
Figura 2.3: Tracción diferencial.....	22
Figura 2.4: Problema de tracción de la configuración romboidal sin suspensión.....	23
Figura 2.5: Configuración en triciclo con rueda delantera motriz y directriz.....	24
Figura 2.6: Dirección Ackerman.....	26
Figura 2.7: Dirección síncrona.....	27
Figura 2.8: Robot con oruga subiendo escaleras.....	29
Figura 2.9: Omniwheels.....	30
Figura 2.10: Configuración triángulo con Omniwheels.....	30
Figura 2.11: Robot bípedo ASIMO de Honda.....	32
Figura 2.12: Ejemplo de robot con varias de dos patas	32
Figura 2.13: Robot saltador.....	33
Figura 2.15: Robot submarino.....	35
Figura 2.16: Sistema de referencia móvil asociado al robot.....	37
Figura 2.17: Dibujo esquemático de un vehículo triciclo.....	38
Figura 2.18: Orbitas satélites GPS.....	42
Figura 2.19: Estación GPS Diferencial.....	43
Figura 2.20: Configuraciones de un sistema de balizamiento.....	44
Figura 2.21: Detalle sensor infrarrojo.....	46
Figura 2.22: Detalle sensor ultrasonidos.....	47
Figura 2.23: Sensor infrarrojo.....	47
Figura 2.24: Detalle sensor de contacto.....	48
Figura 2.25: Tablero de juego EUROBOT 1998.....	50
Figura 2.26: Tablero de juego EUROBOT 1999.....	50
Figura 2.27: Tablero de juego EUROBOT 2000.....	51

<i>Figura 2.28: Tablero de juego EUROBOT 2001.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 2.29: Tablero de juego EUROBOT 2002.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 2.30: Tablero de juego EUROBOT 2003.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 2.31: Tablero de juego EUROBOT 2004.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 2.32: Tablero de juego EUROBOT 2005.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 2.33: Tablero de juego EUROBOT 2006.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 2.34: Tablero de juego EUROBOT 2007.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 2.35: Tablero de juego EUROBOT 2008.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3.1: Tablero de juego EUROBOT 2009.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 3.2: Distribución soportes terrestres para balizas.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.3: Zonas de edificación.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3.4: Distribución dispensadores.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.5: Detalle dispensador.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.6: Detalle dispensadores de dintel.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 3.7: Posiciones de las piezas libres.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3.8: Detalle construcción.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3.9: Tamaños máximos permitidos.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 3.10: Detalle sistema de recogida.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3.11: Detalle palas sistema construcción.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 4.1: Detalle ruedas.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 4.2: Detalle bandeja para placas de control.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 4.3: Ejemplo de recogida.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 4.4: Detalle servo S3003 de Futaba.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 4.5: Detalle rampa.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 4.6: Detalle cinta transportadora.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 4.7: Sistema de construcción.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 4.8: Mecanismo colocación de dintel.....</i>	<i>81</i>

<i>Figura 4.9: Muestra templo completo.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 4.10: Muestra templo de una altura.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 4.11: Detalle bandeja retráctil.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 4.12: Fleje encargado de mover la bandeja.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 5.1: Baterías modelo NPH5-12 5Ah de Yuasa.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 5.2: Características de baterías modelo NPH5-12 5Ah de Yuasa.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 5.3: Detalle placas de potencia y convertidor LM2599S.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 5.4: Driver LMD18200T y características.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 5.5: Circuito interno del driver LMD18200T.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 5.6: Placa drivers.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 5.7: Placa base modelo TS-7350.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 5.8: Detalle placa de microcontrolador 8052 y placa intermedia.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 6.1: Esquema de distribución de motores y ruedas.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 6.2: Motor Bernio modelo MR 615 30Q.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 6.3: Ruedas y casquillo de anclaje.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 6.4: Ruedas locas tipo castor.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 6.5: Rueda loca tipo bola.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 6.6: Detalle distribución de la base.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 7.1: GP2Dxx y circuito interno.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 7.2: Curvas de respuesta de GP2D12 y GP2D120.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 7.3: Circuito comparador de la señal de salida del sensor.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 7.4: Detalle Bumper.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 7.5: Ratón.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 7.6: Plantilla caja para ratón.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 7.7: Detalle construcción caja para ratón modificado.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 7.8: Encoder incremental bidireccional y señales de salida.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 7.9: Encoder absoluto.....</i>	<i>109</i>

<i>Figura 7.10: Encoder modelo EB502C12.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 7.11: Circuito interno y conexionado del encoder modelo EB502C12.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 7.12: Pareja sensores detección de pieza.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 7.13: Sensores detección rival.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 7.14: Sensores detección piezas en zona de edificación.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 7.15: Pulsador para detección de dispensador.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 8.1: Recorrido estrategia principal.....</i>	<i>116</i>

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El diseño de microrobots autónomos para su uso en competiciones nacionales e internacionales se está extendiendo por muchos países con el objetivo de fomentar el trabajo en equipo de grupos de estudiantes y permitir el intercambio de conocimientos técnicos. Uno de estos encuentros es EUROBOT, competición nacida en Francia y extendida a participantes de todo el mundo, y orientada a la participación de grupos formados por jóvenes con ganas de utilizar sus conocimientos e imaginación para crear un robot.

Este proyecto nace de la ilusión de los integrantes del equipo formado para representar al LSI (Laboratorio de Sistemas Inteligentes) del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, de la Universidad Carlos III, en la edición de Eurobot 2009. La cual se inició con la clasificación nacional celebrada en la Universidad de Alcalá de Henares, y culminada en la final internacional en la ciudad de La Ferté Bernard, Francia. El equipo se enfrentó, así, al desafío de diseñar y construir un microrobot capaz de enfrentarse a la prueba planteada este año por la organización del torneo. [7];[10]

De esta manera, el presente proyecto tiene el objetivo de ilustrar los conocimientos aplicados y las decisiones tomadas a la hora de diseñar los sistemas de locomoción y de localización para el microrobot, bautizado como Iron-Paco, a la vez que se explica el funcionamiento general de este.

El primer paso de este proyecto consistió en una reunión de equipo para determinar las bases que darían forma a este robot, buscando las posibles soluciones al problema que se planteaba este año. Siempre se buscaba encontrar la idea más sencilla alejándose de complicadas estrategias llenas de incógnitas.

Esta búsqueda de la sencillez se debe a las experiencias vividas por el LSI en años anteriores, donde soluciones sencillas pero efectivas podían otorgar la victoria sobre equipos a priori más completos. Gracias a esta sencillez se pudo construir el microrobot en el poco tiempo del que se disponía antes del encuentro nacional en la Universidad de Alcalá de Henares. Paso previo para los enfrentamientos de las fases finales en La Ferté Bernard, Francia, lugar de nacimiento de este torneo.

Aunque el proyecto es conjunto, el trabajo se dividió entre cada uno de los integrantes del equipo. De esta manera, la presente memoria se centra en los apartados de locomoción y localización del microrobot. A pesar de ello, se hace un repaso de cada uno de los apartados que lo componen para que se pueda tener una visión global del proyecto y el espacio que ocupa en él los sistemas que dan nombre a esta memoria.

Así, los tres grandes objetivos de este proyecto son:

- ❑ Diseñar un microrobot fiable y robusto que cumpla las condiciones para competir en la edición 2009 de Eurobot.
- ❑ Diseñar e implementar un sistema de locomoción que permita al microrobot afrontar los problemas surgidos en el juego.
- ❑ Diseñar e implementar un sistema de localización y posicionamiento que ofrezca información al microrobot sobre su posición y sobre los elementos del juego.

1.1 Estructura de la memoria

El contenido de esta memoria se estructura en distintos capítulos en función de los bloques temáticos que la componen, los cuales son:

ESTADO DEL ARTE

Dado que este proyecto está relacionado con el mundo de la robótica, este bloque sirve de introducción a este campo de la tecnología a demás de introducir al lector en la competición Eurobot. Dentro de la descripción de la robótica se hace un repaso sobre los sistemas de locomoción y localización más utilizados en robótica.

EL PROBLEMA Y LA SOLUCIÓN

Análisis de las necesidades para la resolución de la prueba EUROBOT 2009. A partir de la normativa de la prueba se estudia cada uno de los aspectos a resolver, para llegar al planteamiento de una solución tanto mecánica como estratégica.

MANIPULACIÓN

Resumen de los sistemas implantados en el microrobot que permiten la recogida de piezas, construcción y edificación de los templos en las zonas acondicionadas para ello.

BLOQUE PRINCIPAL

Descripción de los apartados básicos que componen un robot, como son el sistema de alimentación y el sistema de control. Sin los cuales el microrobot no podría ser autónomo.

LOCOMOCIÓN

Parte principal de esta memoria. En este bloque temático se describe detalladamente las elecciones para llevar a cabo la implementación de un sistema que permita que el robot se mueva y se oriente. Pasando por la elección de los motores, tipo de locomoción o el reparto de pesos.

LOCALIZACIÓN

Segundo núcleo de esta memoria. En él se podrá observar las soluciones adoptadas para poder otorgar al robot de un medio mediante el cual este obtenga información sobre su entorno y sobre los movimientos que realiza.

PRESUPUESTO

En este apartado se detallan los costes derivados de la realización del proyecto, así como el material empleado, cantidad y mano de obra.

BIBLIOGRAFÍA

Se incluye el material de referencia y el material de consulta, así como las diferentes fuentes de Internet que se han consultado para la realización de este proyecto.

ANEXOS

En este apartado último se incluye información de interés sobre determinados elementos del proyecto.

CAPÍTULO 2:

ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se presenta un breve repaso de la historia de la robótica, que va desde los primeros artefactos capaces de realizar las tareas más sencillas, hasta los complejos robots humanoides capaces de transmitir sentimientos. Veremos cómo podemos clasificar los robots en función de sus características y sus posibles aplicaciones. De igual modo, se hará un análisis del campo de los sistemas de locomoción y de localización, alma de este proyecto y medios indispensables en el mundo de la robótica.

2.1 Robótica

La robótica es un campo tecnológico que engloba varias disciplinas, como son mecánica, informática, automática, electricidad, electrónica y organización. Lo complicado de la robótica es encontrar una definición universal de “Robot”. Dentro de estas definiciones podemos encontrar:

- *“Robótica, Técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales”. Real Academia Española*
- *“La robótica es una rama de la tecnología, que estudia el diseño y construcción de maquinas capaces de desempeñar tareas repetitivas, tareas en las que se necesita una alta precisión, tareas peligrosas para el ser humano o tareas irrealizables sin intervención de una maquina.” Wikipedia [20]*

- *"La Robótica consiste en el diseño de sistemas. Actuadores de locomoción, manipuladores, sistemas de control, sensores, fuentes de energía, software de calidad... Todos estos subsistemas tienen que ser diseñados para trabajar conjuntamente en la consecución de la tarea del robot"... [Joseph L. Jones and Anita M. Flynn. Mobile robots: Inspirations to implementation. A K Peters Ltd, 1993]*

El concepto de robot nació como tal en la literatura, por parte del escritor checo Karel Capek pero el escritor que realmente dio impulso al concepto del robot como lo conocemos hoy en día en sus obras fue Isaak Asimov. El mayor aporte de Asimov al mundo de la robótica fueron las llamadas tres leyes de la robótica:

1. *Un robot no puede hacer daño a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano sufra daño.*
2. *Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto si estas órdenes entrasen en conflicto con la primera ley.*
3. *Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la primera o la segunda ley.*

Con estas tres leyes se marcaba un antes y un después dentro de lo que podía ser un aparato mecánico, ya que confería al robot la capacidad de decidir y actuar por voluntad propia, siguiendo una moral virtual basada en estas leyes.

2.1.1 Reseña histórica

Aunque la idea de lo que propiamente es un robot nació en el siglo XX, ya desde antiguo el hombre creó artilugios y máquinas capaces de realizar pequeñas tareas. La historia de la robótica tiene sus comienzos en el Antiguo Egipto, donde se dotaba a las estatuas de algunos de sus dioses de ciertas propiedades mecánicas para infundir temor y respeto en el pueblo. Estas propiedades iban desde despedir fuego por los ojos hasta equipar a la estatua con unos brazos mecánicos manejados por los sacerdotes del templo.

Los griegos perfeccionaron la idea concebida por los egipcios diseñando estatuas cuyo movimiento era proporcionado por mecanismos hidráulicos. Heron de Alejandría (10 dC – 70 dC), matemático y científico griego, dejó constancia de muchos de estos autómatas en su tratado "El autómata", en el cual se describía la creación de mecanismos que imitaban el movimiento, tales como pájaros que volaban y bebían, estatuas que servían vino y puertas automáticas; todos ellos accionados por el efecto del agua, la gravedad o por sistemas de palancas.

La cultura árabe heredó los conocimientos de los griegos, pero dio un salto cualitativo al utilizar estos mecanismos para aplicaciones prácticas. Entre estas aplicaciones prácticas podríamos destacar la implantación de sistemas automáticos dispensadores de agua en palacios y jardines de la realeza, que eran usados diariamente tanto para beber como para lavarse. Al-Jazari (1260), uno de los grandes ingenieros de esa época, inventor del cigüeñal y de los primeros relojes mecánicos movidos por pesos y agua, escribió “El libro del conocimiento de los ingeniosos mecanismos”, considerada una de las obras más importantes sobre historia de la tecnología.

Estas notas de ingenios se suceden a lo largo de la historia, pasando por algunos de los más notables como pueden ser:

- El “Hombre de Hierro” fabricado por Alberto Magno (1206–1280). La historia cuenta que era una especie de mayordomo de hierro, cristal y cuero capaz de andar, abrir la puerta y saludar a los visitantes, aunque por no está suficientemente documentado.
- El Gallo de Estrasburgo (1352), el autómata más antiguo que se conserva en la actualidad. Este gallo formaba parte del reloj de la torre de la catedral de Estrasburgo y al dar la hora movía las alas y el pico. Funcionó desde 1352 hasta 1789.
- Leonardo Da Vinci (1452-1519) creó al menos dos robots, una armadura mecánica capaz de realizar movimientos “humanos” y un león mecánico capaz de rugir y moverse.
- En España, Juanelo Turriano (1501-1585) construyó un autómata de madera conocido como “El hombre de palo” para el emperador Carlos V. Este autómata era capaz de andar además de mover la cabeza, los ojos, la boca y los brazos.
- Otro hombre notable fue Jacques de Vaucanson (1709-1782), sus autómatas más famosos son “El flautista”, “El tamborilero” y “El pato con aparato digestivo”, el cual era capaz de batir las alas, comer y realizar completamente la digestión.
- Pierre Jaquet-Droz (1721-1790), considerado el mejor creador de autómatas de la historia. Sus obras más famosas son “La pianista”, “El dibujante” y “El escritor”, el más complejo de todos, que era capaz de escribir textos de unas cuarenta palabras de longitud utilizando una pluma.
- El inicio de la robótica actual puede fijarse en la industria textil del siglo XVIII, cuando Joseph Jacquard inventa en 1801 una máquina textil programable mediante tarjetas perforadas.

2.1.2 Robótica actual

En la actualidad, los robots son usados para realizar desde tareas peligrosas o difíciles, donde el factor humano puede afectar a la realización de la actividad o son demasiado peligrosas y duras para que las realice un operario. El mayor campo de operaciones de la robótica actual es el sector industrial, ya que hoy en día cualquier fábrica para ser competitiva ha de estar automatizada.

En la industria las tareas más comunes realizadas por robots se sitúan en cadenas de montaje, en ellas, estos ingenios se encargan de reemplazar a los humanos en tareas repetitivas tales como soldadura, manipulación y pintura, elevando el nivel de productividad de la planta y minimizando riesgos para los trabajadores.

Fuera del mundo industrial el uso de robots se ha extendido a otros campos con mucho éxito, como pueden ser: limpieza de residuos tóxicos, exploración espacial y marina, minería, búsqueda y rescate de personas, localización de minas terrestres, desactivación de bombas, o medicina, donde se están consiguiendo grandes avances en cirugía.

Por último habría que destacar el creciente desarrollo de robots humanoides con fines de que van desde el ocio hasta la ayuda personal en eventos o el hogar. Un gran ejemplo de esta rama de la robótica es el robot ASIMO, realizado por parte de la compañía Honda, considerado el robot humanoide más avanzado del momento. ASIMO es un robot humanoide autónomo dotado de diversos sistemas sensores destinados a la recogida de información del entorno para reaccionar de la manera adecuada en todo momento. Su sistema locomotor está tan perfeccionado que es capaz de bailar, estrechar la mano de su interlocutor, subir y bajar escaleras, chutar balones y hasta transportar objetos, como bandejas, y dejarlos sobre una determinada superficie.

Gracias a los conocimientos y tecnologías surgidos de los avances en robótica están apareciendo un gran número de ingenios que intentan cubrir las necesidades cotidianas. Podemos ver como ejemplo los grandes avances en relación con prótesis o el exoesqueleto creado por Honda para ayudar a caminar a personas de movilidad reducida y el traje-robot diseñado por la Universidad de Agricultura y Tecnología de Tokio ideado para ayudar a levantar peso a los granjeros.

2.1.3 Clasificación y tipos

Debido a la gran diversidad de dispositivos e ingenios pertenecientes al mundo de la robótica, se han creado varias clasificaciones en función de sus características y habilidades:

- Clasificación en generaciones:

Características	
1ª Generación	Los autómatas pertenecientes a esta generación repiten la tarea programada secuencialmente. No tienen en cuenta las posibles alteraciones del entorno.
2ª Generación	Pertenecen a este grupo los robots capaces de recopilar información limitada del entorno y actuar en consecuencia.
3ª Generación	Esta generación la forman aquellos robots que poseen algún tipo de inteligencia artificial. Están dotados de una gran capacidad de cálculo y de recogida de datos del entorno. Pueden aprender de situaciones previas y adaptarse a los cambios.

- Clasificación según T. M.Knasel:

En la revista "Robotics" en un artículo de 1986, T. M.Knasel publicó una clasificación de la robótica en función del tipo de control y de los grados de movilidad. De este modo diferenció cinco generaciones:

Generación	Nombre	Tipo de control	Movilidad	Usos
1ª Generación (1982)	Pick & place	Fines de carrera, aprendizaje	Ninguno	Manipulación, servicio de máquinas
2ª Generación (1984)	Servo	Servocontrol, trayectoria continua, programación condicional	Desplazamiento por vía	Soldadura, pintura
3ª Generación (1989)	Ensamblado	Servos de precisión, visión, tacto	Guiado por vía	Ensamblado, desbarbado
4ª Generación (2000)	Móvil	Sensores inteligentes	Patas, ruedas	Construcción, mantenimiento
5ª Generación (2010)	Espaciales	Controlados con técnicas de IA	Andante, saltarín	Militar, espacial

- Clasificación según la Asociación Francesa de Robótica Industrial:

Tipo	Propiedades
Tipo A	Manipulador con control manual o teleoperado
Tipo B	Manipulador automático con ciclos preajustados; regulación mediante fines de carrera o topes; control por PLC; accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico
Tipo C	Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimiento sobre su entorno
Tipo D	Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función de estos

2.2 LOCOMOCIÓN EN ROBÓTICA

Los animales, desde los organismos unicelulares más sencillos hasta los vertebrados más complejos, todos tienen en común la habilidad de moverse. Esta capacidad de movimiento pasa por medios para reptar, nadar, volar o caminar usando patas. Desde que el hombre empezó a construir artefactos para realizar diferentes tareas, siempre ha tomado a los animales como prototipo para su diseño. De igual manera, los robots tratan de emular estos sistemas de locomoción para poder moverse en los medios para los que son diseñados. Así, podemos encontrar robots que se desplazan por medio de patas, son capaces de reptar ó nadar.

A pesar de esto, el sistema más extendido para la locomoción en robótica son las ruedas. Esto es debido a que los sistemas basados en ruedas son los más sencillos de construir y controlar, y permiten una distribución de pesos más sencilla. Dentro de este grupo podemos incluir los sistemas de tracción por orugas o “cintas de deslizamiento”, que permiten un mejor acceso a terrenos con obstáculos. A continuación haremos un resume de los tipos de locomoción más comunes, poniendo especial interés en los sistemas por ruedas, por ser los más extendidos.[1];[3]

- **Sistemas por ruedas:**

Los sistemas de tracción por ruedas pueden clasificarse en función del número de ruedas motrices y la posición de las ruedas directrices. La elección de una de estas configuraciones dependerá del objetivo del robot y el medio en el que se moverá. En primer lugar introduciremos algunos conceptos previos.

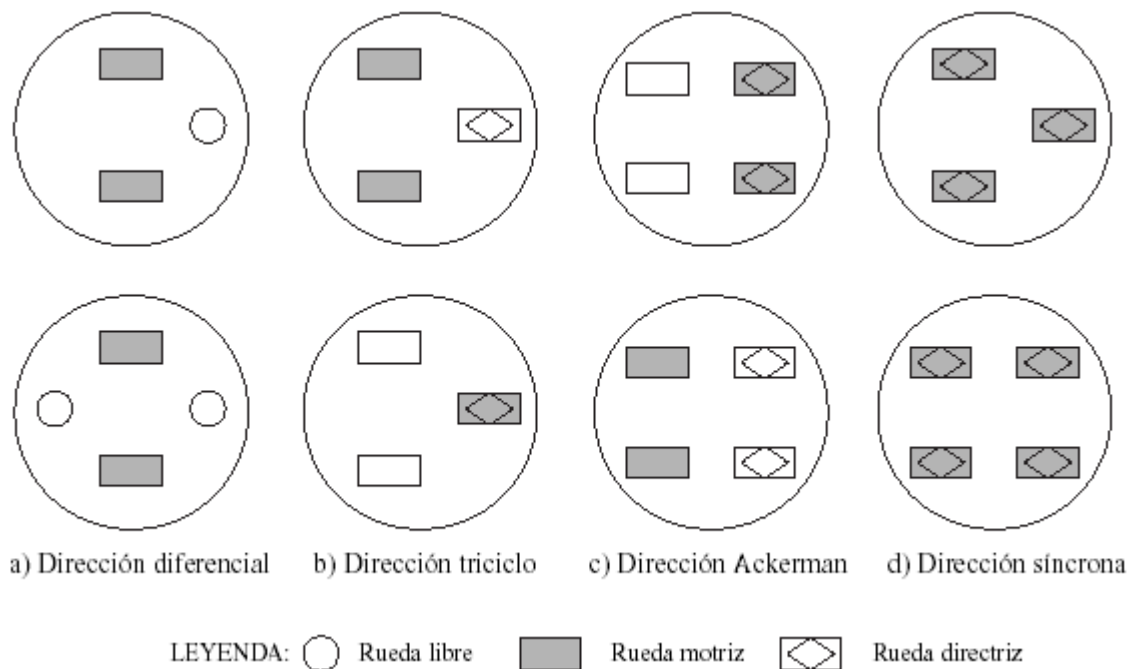


Figura 2.1: Sistemas de locomoción por ruedas

Definiciones:

- **Rueda motriz:** La que proporciona fuerza de tracción al robot
- **Rueda directriz:** Ruedas de direccionamiento de orientación controlable.
- **Ruedas fijas:** Sólo giran en torno a su eje sin tracción motriz.
- **Ruedas locas o ruedas de castor:** Ruedas orientables no controladas.
- **“Centro instantáneo de rotación” (CIR):** o “Centro instantáneo de curvatura” (CIC): El punto de intersección de todos los ejes de las ruedas.

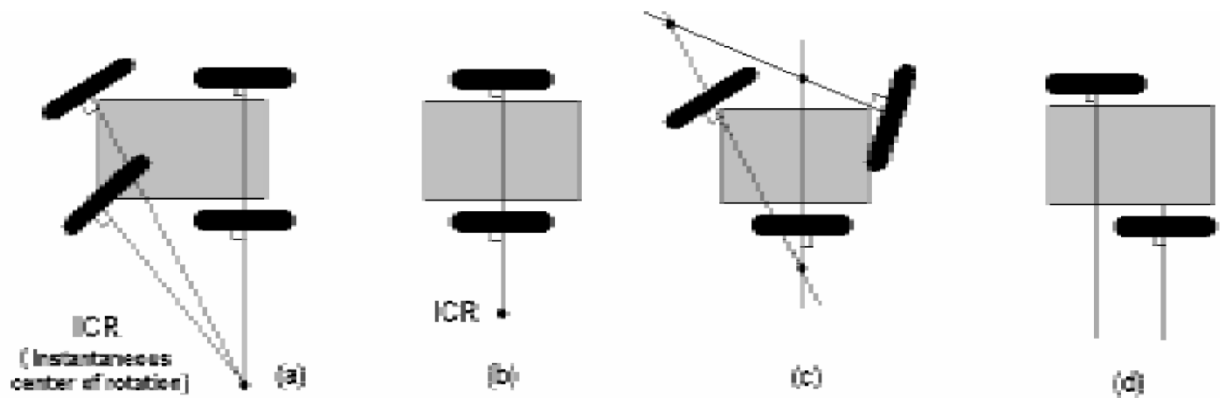


Figura 2.2: Centro instantáneo de rotación

- **Movimiento no holonómico:** El robot puede moverse instantáneamente adelante o atrás pero no lateralmente debido a la restricción de movimiento de las ruedas.
- **Tipos de configuraciones:** Según el número de ruedas motrices y el mecanismo de orientación utilizado podemos conseguir un mayor o menor ángulo de giro o una mejor tracción.

2.2.1 Tracción diferencial

Es la configuración más sencilla y utilizada. La tracción diferencial consta de dos ruedas motrices montadas en un eje común, pero movidas por motores independientes, y ninguna rueda directriz. El robot podrá moverse hacia adelante o hacia atrás cuando las ruedas giren en el mismo sentido con la misma velocidad. Para realizar giros es necesario que las ruedas giren a velocidades diferentes, y cuando la velocidad de giro es igual pero de sentido opuesto el robot gira sobre si mismo. Esta habilidad es especialmente útil si el robot necesita moverse en espacios reducidos o laberintos.

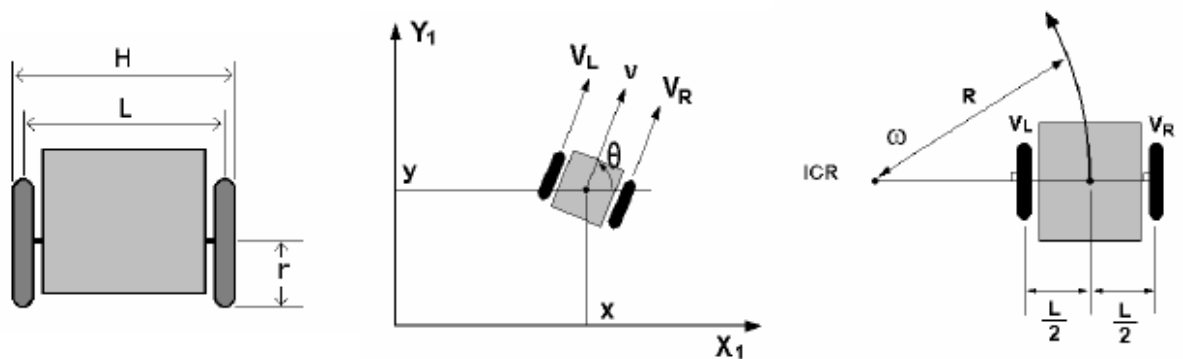


Figura 2.3: Tracción diferencial

Una cuestión importante en esta configuración es cómo resolver el equilibrio del robot, para lo que es necesario aportar un apoyo adicional a las dos ruedas motrices. Para ello se utilizan una o dos ruedas de apoyo añadidas en un diseño triangular o romboidal. Generalmente estas ruedas de apoyo son ruedas locas o de castor, con lo que se consigue que el robot no se balancee si el reparto de pesos es adecuado. El diseño triangular puede no ser suficiente dependiendo de la distribución de pesos del robot, ya que en los movimientos bruscos puede cabecear. Por su parte la configuración romboidal puede provocar inadaptación al terreno si éste es irregular, debido a que si las ruedas no poseen algún tipo de suspensión puede ocurrir que las ruedas motrices pierdan contacto con el suelo, impidiendo el movimiento del robot.

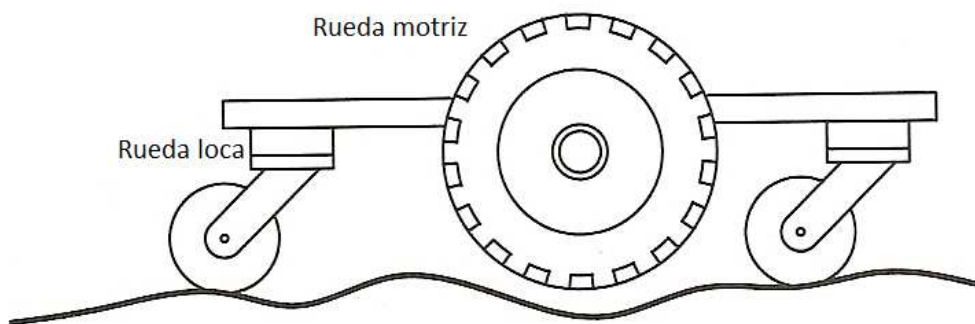


Figura 2.4: Problema de tracción de la configuración romboidal sin suspensión

A pesar de que este método es el más sencillo para permitir el movimiento de un robot, no hace que su control sea tan fácil. Ya que hay que asegurar que ambos motores giran a la misma velocidad cuando se requiere un movimiento en línea recta, lo que implica una mayor complejidad en los sistemas de control y software.

VENTAJAS

- Diseño simple
- Fácil de implementar
- Bajo coste

INCONVENIENTES

- Difícil de controlar
- Requiere control de precisión en trayectorias rectas

2.2.2 Triciclo

La tracción en triciclo se basa en apoyar el robot sobre tres ruedas, una de ellas directriz, y que en cualquier caso será la que permita realizar los giros. En esta configuración podemos elegir entre tres posibilidades:

1. Las ruedas traseras son motrices y la rueda delantera es la directriz.
2. La rueda delantera hará las veces de rueda motriz y directriz, siendo las ruedas traseras ruedas fijas.
3. Si se invierte la estructura, se pueden tomar las ruedas coaxiales como ruedas motrices y directrices, mientras que la rueda independiente, en este caso trasera, será una rueda loca o fija.

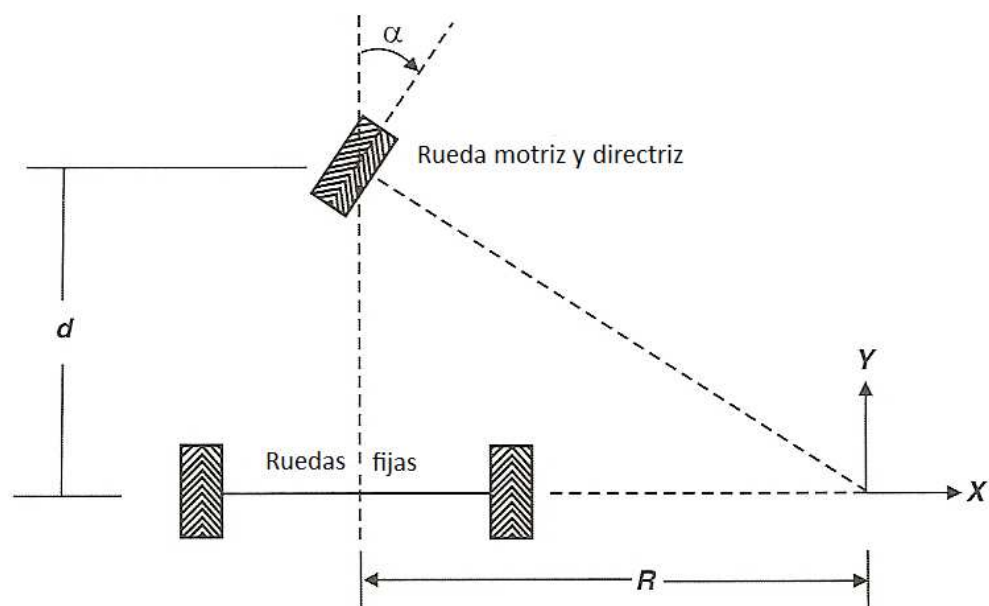


Figura 2.5: Configuración en triciclo con rueda delantera motriz y directriz

En el caso 2, para que se pueda realizar el giro es necesario que la línea que pasa por el eje de la rueda directriz corte la línea que pasa por el eje de las ruedas traseras. En la Figura 2.5 podemos observar el centro instantáneo de rotación (CIR). Si la rueda directriz gira un ángulo α respecto del eje longitudinal del robot y la velocidad es de ϑ , entonces, el robot girará con una velocidad angular de ω sobre el punto R, según:

$$R = d \tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)$$

$$\omega = \frac{\vartheta}{(d^2 + R^2)^{1/2}}$$

Estas ecuaciones representan la cinemática del robot hacia adelante. En general la solución de las ecuaciones de la cinemática inversa en función del ángulo θ , es muy compleja. La configuración en triciclo es adecuada en entornos amplios donde la velocidad de maniobra no es importante.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none">• Diseño simple• No hay deslizamiento de las ruedas fijas• Bajo coste• Menor control	<ul style="list-style-type: none">• Se requiere guiado no holonómico• Reparto de pesos• Radio de giro grande

2.2.3 Dirección Ackerman

Otra posible configuración para el sistema de tracción de un robot consiste en usar dos ruedas motrices en la parte trasera y dos ruedas directrices en la delantera. Esta configuración tiene la bondad de permitirnos un reparto de pesos menos exigente, siempre que la aplicación no lo requiera, pues disponemos de cuatro puntos de apoyo. El problema es que al trazar una curva cada una de las ruedas directrices describe una circunferencia de distinto radio. Como el radio que describe la rueda interior es menor que el de la exterior, si girasen igual las dos ruedas la interna o se trabaría, o sería arrastrada en las curvas.

Para evitar esto, Ackerman, a principios de siglo estudiando los sistemas de dirección en los carruajes, estableció que era necesario que la prolongación de los brazos de dirección se corten a la altura del eje trasero. De esta forma la rueda interior en una curva girará más que la exterior y no será arrastrada. Como se puede observar en la figura, el ángulo α_i es mayor que el α_e , lo que implica que aparezca el centro instantáneo de rotación (CIR) en el punto de intersección entre los brazos de dirección y el eje trasero.

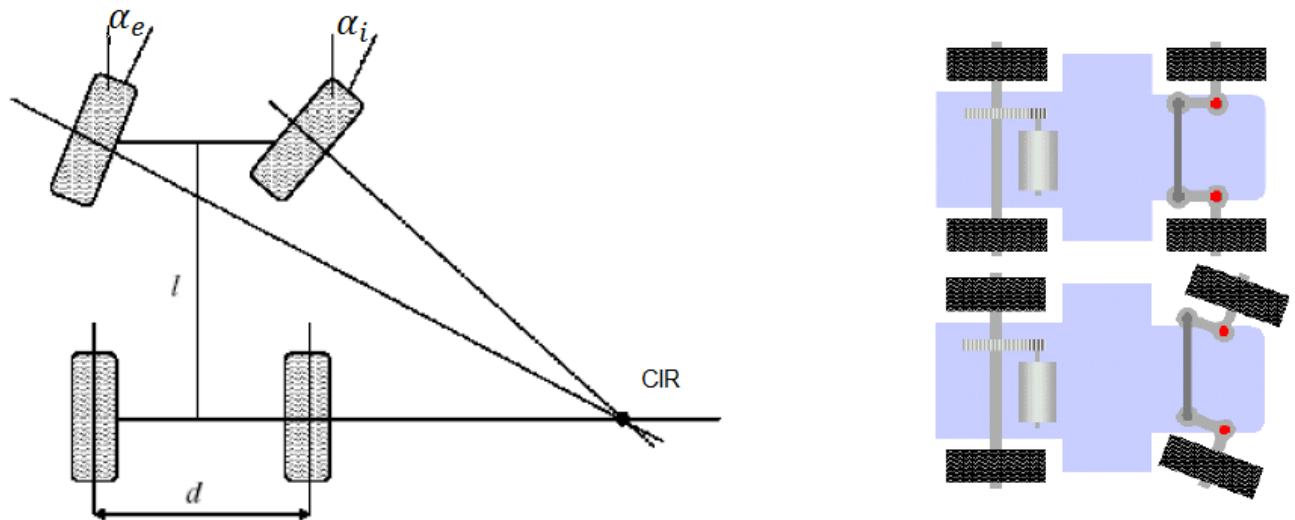


Figura 2.6: Dirección Ackerman

A la diferencia entre los valores de los dos ángulos cuando la dirección se encuentra girada al máximo, se denomina efecto Ackerman o ángulo de viraje.

$$\cot \alpha_i - \cot \alpha_e = \frac{d}{l}$$

Esta configuración, además de en robótica, es la utilizada en los coches. Aunque en muchas ocasiones las ruedas delanteras además de ser directrices también son motrices (tracción delantera), de este modo se aprovecha mucho mejor la energía en curva, ya que la fuerza se transmite en la dirección de ésta por lo que serán más fáciles de controlar.

VENTAJAS

- Energéticamente eficiente.
- Permite giros a altas velocidades.
- Buena estabilidad.

INCONVENIENTES

- Restricciones no holonomicas.
- El radio de giro es grande, por lo que se deberá reducir la velocidad antes de realizar la curva.
- Mayor coste.

2.2.4 Locomoción síncrona

Como puede verse en la Figura 2.1, la locomoción síncrona se basa en un diseño en el que todas las ruedas son motrices y directrices, ya sean tres o cuatro. Todas las ruedas se orientan en la misma dirección y giran a la misma velocidad. De este modo, cuando se quiere que el robot cambie de dirección se giran todas las ruedas alrededor de su eje vertical, con lo que la dirección del robot cambia, pero su chasis sigue apuntando en la misma dirección que tenía.

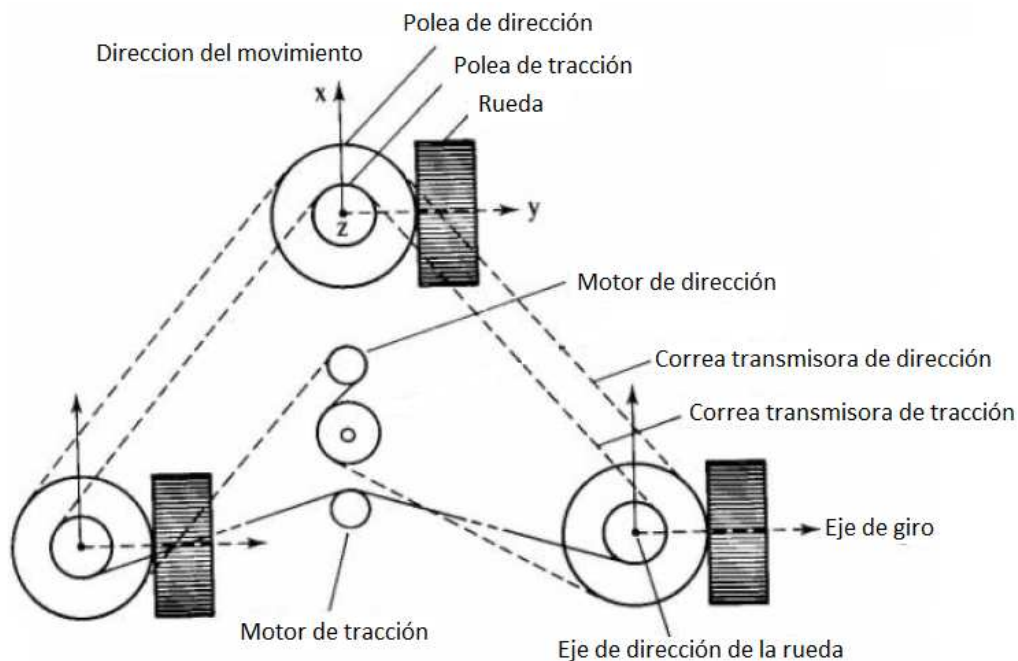


Figura 2.7: Dirección síncrona

Si el robot posee una parte delantera (es asimétrico) será necesario diseñar un procedimiento mediante el cual el cuerpo se oriente en la misma dirección que las ruedas. La locomoción síncrona supera muchas de las dificultades de control de las que adolecen el resto de configuraciones, pero a costa de una mayor complejidad mecánica.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> • Motores separados para tracción y dirección simplifican el control • El control en línea recta es mecánicamente sencillo • Diseño holonómico 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño complejo • Difícil implementación • Baja velocidad • Alto coste

2.2.5 Otros sistemas

Locomoción por cintas de deslizamiento (oruga)

Se pueden incluir los sistemas de tracción por cintas de deslizamiento u orugas dentro de la categoría de los sistemas de ruedas, ya que se basan en los mismos principios. Multitud de robots utilizan este método de desplazamiento, pero la gran mayoría de ellos están orientados a ambientes peligrosos o en los que el desplazamiento es complejo, como propósitos militares o exploración espacial.

Desde el punto de vista cinemático, esta configuración puede considerarse como una variante de la tracción diferencial. Es decir, los giros se realizan mediante el deslizamiento del robot sobre el suelo al girar una cinta más rápido que la otra o al girar en sentidos opuestos. La importancia de los robots que utilizan esta configuración recae en la habilidad de las cintas en superar obstáculos infranqueables por los robots con ruedas. Esta habilidad les permite incluso subir o bajar escaleras.

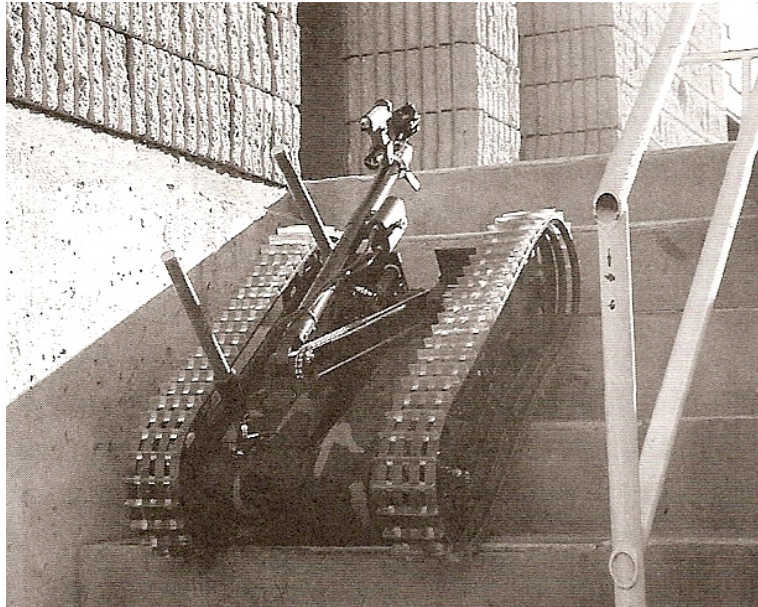


Figura 2.8: Robot con oruga subiendo escaleras

A pesar de esto, los robots con cintas de deslizamiento son los menos comunes para actividades sencillas. Ya que presentan mayores costes, un mayor desgaste por fricción y por ser más lentos.

VENTAJAS

- Sistema fácil de controlar
- Fácil de implementar
- Permite el acceso a zonas complicadas
- Sistema robusto

INCONVENIENTES

- El deslizamiento conlleva resultados pobres en odometría
- Giros poco precisos
- Baja velocidad
- Alto coste de mantenimiento por desgaste

Omniwheels

Poco a poco van apareciendo nuevas configuraciones de locomoción y nuevos diseños de ruedas que permiten una mayor libertad de movimiento y eficiencia energética que los sistemas de ruedas tradicionales. Un ejemplo de ello son las “Omniwheels” o “Ruedas suecas”.



Figura 2.9: Omniwheels

Estas permiten un movimiento omnidireccional gracias a su diseño. Estas ruedas se basan en montar una serie de barriles o rodamientos en la periferia de una rueda de mayor diámetro. La combinación de estos dos elementos permite el movimiento de grandes cargas en cualquier dirección con un menor consumo de energía. Por lo general, la configuración utilizada para montar estas ruedas en un robot es en triángulo, como se puede ver en la Figura 2.10.

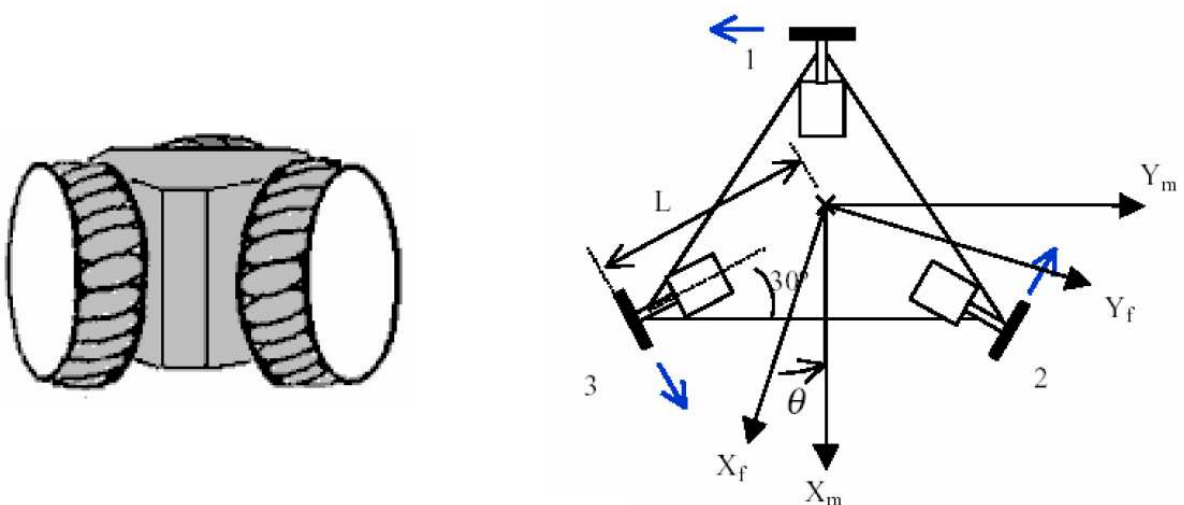


Figura 2.10: Configuración triángulo con Omniwheels

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none">• Permiten movimientos complicados• Reducen restricciones cinemáticas• Bajo coste	<ul style="list-style-type: none">• Difícil control• Difícil implementación• Movimiento en línea recta solo permitido por sistemas de control complejos

- ***Robots con piernas:***

Los robots con sistemas de locomoción que utilizan ruedas necesitan estar en contacto permanente con el suelo, en cambio, los robots que se desplazan con patas solo tienen que mantener en el suelo al menos una. Gracias a esta habilidad, los robots movidos por patas son capaces de desplazarse en terrenos rugosos o con muchos obstáculos. De la observación e imitación de los animales podemos diferenciar varios tipos de diseños de robots con patas, como pueden ser bípedos, tetrapodos, hexápodos u octópodos.

Locomoción bípeda:

El ser humano es el modelo por excelencia de locomoción bípeda, por lo que los robots bípedos se diseñan principalmente intentando emular nuestras piernas. Pero el control de la locomoción bípeda presenta dos grandes problemas: el control de estabilidad, necesario para mantener una postura erguida, y control del movimiento, que permita un desplazamiento hacia adelante a varias velocidades. A pesar de esto, el bipedismo presenta varias ventajas, como el acceso a terrenos muy complicados.

La solución a los dos problemas mencionados anteriormente consiste en encontrar un sistema que mantenga el centro de gravedad en la vertical situada entre los pies, y un sistema de control dinámico del movimiento de las piernas. Una vía utilizada para evitar el problema de la estabilidad es la de construir pies muy grandes, con lo que se asegura la estabilidad estática.



Figura 2.11: Robot bípido ASIMO de Honda

Locomoción con más de dos patas:

Al igual que los sistemas de locomoción bípedos, los robots basados en locomoción por patas tienen el objetivo de acceder a terrenos complicados. Las configuraciones más comunes son los robots con cuatro, seis u ocho patas, pero existen diseños con un mayor número de estas. Estas configuraciones presentan el problema de una mayor complejidad en el control, ya que se necesita una coordinación complicada.

Su ventaja sobre los sistemas bípedos se centra en la estabilidad. Debido a que tienen apoyadas más de dos patas sobre el suelo tienen la estabilidad estática asegurada, haciendo más sencillo el control del centro de gravedad. Gracias a su versatilidad en terrenos complicados los robots con varias patas están siendo orientados a actividades militares, peligrosas o de investigación.



Figura 2.12: Ejemplo de robot con varias de dos patas

- **Otros diseños:**

Como se ha descrito anteriormente, la naturaleza es el principal medio de obtención de ideas y diseños para los sistemas de locomoción de los robots. En este apartado se verán algunos de los diseños menos comunes, pero no por ello los menos imaginativos.

Robots saltadores:

Como alternativa a caminar o correr se desarrollaron robots capaces de desplazarse saltando, como lo pueden hacer los canguros o las aves. Los principales objetivos de diseño de estos robots son:

- Sistema de propulsión: Van desde un sistema de aire comprimido hasta sistemas basados en pistones movidos por motores de combustión.
- Giro: Debe diseñarse un medio por el cual el robot pueda orientarse.
- Resistencia a los golpes: El robot debe ser capaz de resistir el impacto al aterrizar.
- Auto-corrección: Dado que la posición al aterrizar es desconocida a priori, el robot debe ser capaz de ponerse en pie el mismo.



Figura 2.13: Robot saltador

Robots reptantes:

Las serpientes son los únicos animales capaces de desplazarse arrastrándose, para ello utilizan una serie de movimientos propios como:

- Ondulación lateral, movimiento básico de las serpientes.
- Paso de acordeón, útil en áreas reducidas o estrechas.
- Movimiento lateral, movimiento que realizan las serpientes al moverse sobre arena o superficies suaves.
- Movimiento rectilíneo, movimiento realizado gracias a la capacidad de mover la piel respecto al esqueleto.

Estos movimientos han sido copiados y adaptados a los robots para hacerlos capaces de desplazarse por tubos o zonas especialmente estrechas o complejas. El secreto de estos robots es emular la columna vertebral de las serpientes, de modo que la forma más común de estos robots es de robots modulares. Estos módulos están conectados entre si y son capaces de orientarse respecto de los módulos contiguos, permitiendo que el robot se desplace y se adapte al terreno. Incluso existen modelos capaces de nadar.



Figura 2.14: Ejemplo de robots resptantes

Robots nadadores:

Además de los robots serpiente capaces de nadar mostrados en el apartado anterior, existen diseños semejantes a peces y submarinos. Su principal misión es la de actuar en actividades de reconocimiento o reparaciones submarinas.

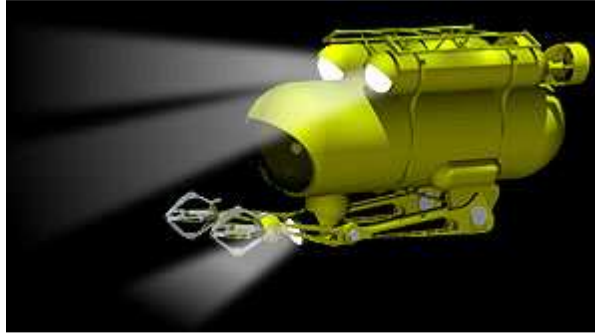


Figura 2.15: Robot submarino

Robots voladores:

Se trata de robots que son capaces de desplazarse en tres dimensiones en el aire. Van desde diseños similares a un aeroplano o un helicóptero hasta simulaciones de aves. Su principal cometido son actividades militares, como el mapeado o reconocimiento de terrenos. Aunque también se están extendiendo en el campo del entretenimiento juguetes capaces de volar por medios muy complejos.

Su principal dificultad se centra en el control, ya que se trata de vehículos que deben tener un impulso capaz de vencer la fuerza de la gravedad y deben ser capaces de adaptarse a los cambios en el ambiente de manera autónoma.

2.3 LOCALIZACIÓN EN ROBÓTICA

En este capítulo se tratarán los métodos que permiten a los robots autónomos determinar donde están y el camino que han de seguir para llegar a su objetivo evitando los obstáculos que encuentren, dentro de un entorno desconocido o conocido parcialmente. Estos métodos nacen de la necesidad de otorgar autonomía a los robots, entendiendo “autónomo” como la capacidad de percibir, planificar y actuar sin la intervención de supervisores humanos. Teniendo en cuenta esto, no se pueden incluir dentro de esta categoría ningún tipo de máquina teleoperada ni vehículos autoguiados, ya que unos dependen del control humano y otros se limitan a seguir caminos preestablecidos o a actuar de forma repetitiva.

Cada vez los robots van teniendo más autonomía y deben realizar tareas en entornos cada vez más complejos, por lo que deben poseer sistemas que los capaciten para superar mayores problemas de orientación y navegación. Estos sistemas aportan información necesaria al robot para poder estimar su posición y orientación, y para actualizar los datos que posee sobre su entorno. La complejidad de estos sistemas aumentará en relación con el entorno en el que se desarrolla la actividad. No necesitará la misma infraestructura un robot que se desplace una distancia corta sobre una superficie lisa y libre de obstáculos, que un robot que se deba mover largas distancias por entornos complejos.

Independientemente de la actividad realizada el robot necesita responder las cuestiones de “¿Dónde estoy?” y “¿Cómo llego ahí?”. Los sistemas de localización y navegación son los encargados de responder estas preguntas, para ello aportan información sobre posición y orientación, y trabajan para obtener los datos necesarios para ir del punto *A* al punto *B* siguiendo la mejor ruta, evitando los obstáculos que se interpongan en esta ruta. Todos estos datos son recogidos por el sistema sensorial que el robot necesita llevar instalado, e indican valores como distancia recorrida, velocidad, reconocimiento de marcas, orientación, etc. Todas estas medidas no están exentas de errores, por lo que la mayoría de algoritmos usados en localización y navegación son probabilísticos.

A continuación se hará un repaso por los problemas y soluciones planteadas por cada método aplicable en el sistema de posicionamiento de un robot.

2.3.1 El problema de la localización

El robot necesita conocer su posición y orientación exacta con respecto a un sistema de referencia absoluto para poder desplazarse por el entorno. Ya que esta información es imprescindible para generar trayectorias, evitar obstáculos, monitorizar la ejecución de la actividad, etc.

De forma general, determinar la localización de un robot móvil equivale a encontrar las componentes de translación (t_x , t_y , t_z) y de rotación (θ_x , θ_y , θ_z) del sistema de coordenadas solidario al robot con respecto a un sistema absoluto. Siendo el caso más común el sistema de coordenadas bidimensional, donde el robot presenta tres grados de libertad posibles. De manera que el problema se reduce a encontrar la terna (t_x , t_y , θ) asociada al sistema móvil del vehículo, donde (t_x , t_y) representa su posición y θ representa su orientación (ver Figura).

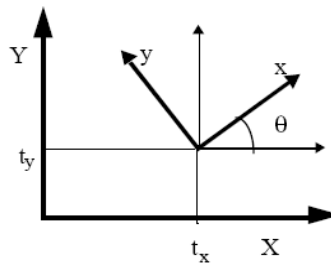


Figura 2.16: Sistema de referencia móvil asociado al robot

Pueden clasificarse los métodos de estimación de posición del robot en función de donde obtengan la información que necesitan. Así, vamos a dividir los sistemas en dos bloques: [A] sistemas de estimación explícitos, que obtienen la posición y orientación del robot a partir de medidas sin que exista un procesamiento de información, y [B] sistemas basados en el entorno, que utilizan sensores que suministran información sobre el entorno a partir de la cual calculan la localización del vehículo mediante comparación de ésta con otros datos o modelo conocido (mapa, marcas del terreno, objetos, etc.).

A. Sistemas de estimación de la posición explícitos

En esta división se incluyen todos los sistemas que permiten estimar la posición del robot sin necesitar información del entorno que lo rodea. A su vez, se distinguen dos grupos: estimación basada en medidas internas, y estimación basada en estaciones de transmisión. Los primeros trabajan exclusivamente con sensores integrados en el vehículo como encoders, giróscopos, brújulas, acelerómetros, etc. Los segundos, por el contrario, obtienen la localización del robot mediante el uso de emisores o señales de referencia colocadas en posiciones conocidas del entorno. Este método requiere de un sistema receptor montado en el robot, mediante el cual se obtendrá la posición respecto de las señales.

Hay que tener en cuenta que en esta última clasificación las unidades emplazadas en el medio no tienen por qué ser activas. Como en el caso un sistema basado en la localización mediante cámaras de vídeo de marcas artificiales colocadas a tal fin en el entorno (código de barras, señales, etc.). Estos sistemas podrían englobarse dentro de los estimadores basados en el entorno, puesto que, puede entenderse que este proceso conlleva la percepción del entorno, pero en ellos la posición no es estimada a partir del análisis ó interpretación del entorno percibido, sino que es determinada de una forma más o menos directa por triangulación.

- **Estimación explícita utilizando medidas internas:**

Dentro de los métodos para estimar la posición utilizando medidas internas los más utilizados son la odometría y la navegación inercial. Se diferencian en el tipo de información que necesitan, el primero integra la velocidad del robot respecto al tiempo y el segundo utiliza las aceleraciones del robot en su trayectoria.

Odometría:

La odometría es un método muy antiguo que fue utilizado inicialmente en la navegación marítima, donde era el método principal para estimar la posición sobre los mapas. En la actualidad es el método más simple de posicionamiento de un robot móvil, el cual consiste en integrar la trayectoria recorrida por éste a partir de una serie de medidas internas: vueltas dadas por las ruedas, velocidad o cambios de orientación. Siendo lo más común el uso de encoders que cuenten el número de vueltas dadas por las ruedas. Obviamente, para la estimación se requiere el registro odométrico de al menos un par de ruedas del vehículo.[15]

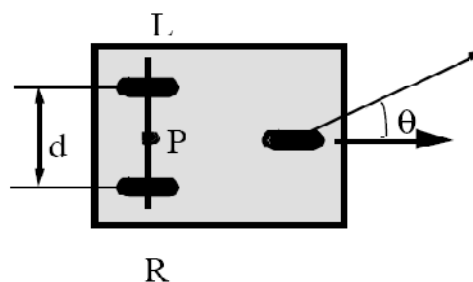


Figura 2.17: Dibujo esquemático de un vehículo triciclo

En la figura podemos observar la configuración básica de un sistema odométrico, donde se han colocado sendos codificadores en las ruedas traseras del robot móvil. Aunque es posible escoger en el vehículo distintos puntos de referencia para el guiado del mismo, como puede ser el punto medio entre ambas ruedas (punto P de la Figura 2.17). Podemos, por tanto, enfrentarnos al problema del cálculo de la posición de dos formas.

En el primer método tomaremos como referencia el eje X local. El punto de inicio del robot será la posición inicial (x_0, y_0) y la orientación inicial θ_0 respecto al citado eje, y las entradas del sistema son la velocidad lineal $V(t)$ y la velocidad angular $\omega(t)$. Con esto deberemos calcular la terna $[x(t), y(t), \theta(t)]$ mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}x(t) &= x_0 + \int_0^t V(t) \cos \theta(t) dt \\y(t) &= y_0 + \int_0^t V(t) \sen \theta(t) dt \\ \theta(t) &= \theta_0 + \int_0^t \omega(t) dt\end{aligned}$$

Según el segundo método tomaremos como referencia el punto P situado entre las ruedas visto en la Figura. En este método la distancia recorrida por el punto P en un intervalo de tiempo t viene dada por la expresión:

$$\Delta s = \frac{1}{2} (\Delta s_R + \Delta s_L)$$

Donde s_R y s_L son las distancias recorridas por las ruedas derecha e izquierda, respectivamente. La variación en la orientación del vehículo $\Delta\theta$, viene dada por:

$$\Delta\theta = \frac{1}{d} (\Delta s_R - \Delta s_L)$$

Donde “d” es la distancia entre ambas ruedas. Mediante integración de las anteriores ecuaciones es posible obtener la distancia recorrida por el punto P $[s(t)]$ y la orientación del vehículo $[\theta(t)]$ en un tiempo dado t :

$$\begin{aligned}s(t) &= \frac{1}{2} (s_R(t) + s_L(t)) \\ \theta(t) &= \theta(0) + \frac{1}{d} (s_R(t) - s_L(t))\end{aligned}$$

A su vez, las coordenadas $x(t)$ e $y(t)$ del punto P pueden obtenerse mediante las expresiones:

$$\begin{aligned}x(t) &= x(0) + \int_0^t \frac{1}{2} (\dot{s}_R(t) + \dot{s}_L(t)) \cos(\theta(t)) dt \\ y(t) &= y(0) + \int_0^t \frac{1}{2} (\dot{s}_R(t) + \dot{s}_L(t)) \sen(\theta(t)) dt\end{aligned}$$

El amplio uso de la odometría se debe a la facilidad para obtener la información y en su bajo coste. Ya que el hardware necesario para implementar un sistema odométrico consiste en la instalación de encodes que recojan el número de vueltas que realizan las ruedas u otro tipo de sensor que registre movimiento, como pueden ser una par de ratones. A pesar de esto, la odometría presenta algunos inconvenientes, ya que parte de un sistema ideal. La información obtenida perderá fiabilidad si el radio de las ruedas es diferente, si el robot no es totalmente simétrico (la distancia recorrida por la rueda derecha no es igual que la recorrida por la izquierda) y el caso más común, si se producen deslizamientos o hay irregularidades en el terreno.

Estos desajustes provocan que las medidas contengan errores que se van acumulando, con lo que el error dependerá de la distancia recorrida. Por ello es un sistema muy utilizado en recorridos cortos en un ambiente controlado.

Navegación inercial:

Los sistemas de navegación inercial (INS del inglés “Inertial Navigation System”) nacen de la necesidad de controlar la posición de vehículos en un espacio de tres dimensiones. Es por ello que lo más común es encontrar estos sistemas de posicionamiento en vehículos espaciales, submarinos, barcos o aviones. Los INS estiman la posición y orientación del vehículo empleando acelerómetros y giroscopios, con los que se genera un sistema inercial coordinado. El número de sensores utilizado dependerá del número de dimensiones que se necesite, por ejemplo, para un movimiento en tres dimensiones se utilizarán tres acelerómetros y tres giroscopios, de los que se obtendrá un vector de coordenadas $[x(t), y(t), z(t)]$ y tres ángulos que definen el movimiento del vehículo.

Con los datos obtenidos de los acelerómetros se calcularán la velocidad lineal y la posición mediante la primera y segunda derivada, respectivamente. Por su parte, los ángulos entregados por los giroscopios aportan información sobre la orientación del vehículo respecto un sistema dado. Estos ángulos pueden ser de alabeo, cabeceo y guiñada según el sistema coordinado del vehículo o pueden ser los ángulos de Euler, si se define un sistema coordinado global. La elección de un sistema coordinado u otro dependerá de la actividad realizada.

Los INS tienen la ventaja de ser precisos y fiables, gracias a que estos no se ven afectados por la interacción con superficies irregulares o por movimientos accidentales, como pueden ser colisiones. Por lo que los sistemas inerciales son más indicados que los odométricos para robots que realizan actividades en las que la precisión es importante y no es posible disponer de información del entorno, aunque también adolecen de errores acumulados. Su mayor inconveniente es su elevado precio y menor robustez, además de la necesidad de ser calibrados con frecuencia.

Tanto los sistemas inerciales como odométricos suelen ser utilizados en conjunción con otros sistemas de posicionamiento absoluto, de manera que la incertidumbre debida al error acumulado sea menor.

- ***Estimación basada en estaciones de transmisión***

Los sistemas de posicionamiento que utilizan estaciones de transmisión se caracterizan por su la capacidad de proporcionar la localización absoluta del vehículo en un área suficientemente grande sin necesidad de ningún conocimiento del entorno en el que se encuentra. Estos sistemas han venido siendo utilizados desde hace varias décadas en aplicaciones marítimas y aeronáuticas, y actualmente se han extendido al uso domestico, desde navegadores para coches hasta terminales de posicionamiento para actividades de exterior, como la escalada o el senderismo. Esto también afecta al mundo de la robótica, donde cada vez se utilizan estos medios para obtener una localización precisa.

La configuración de estos sistemas consiste en un receptor instalado en el vehículo y un conjunto de estaciones transmisoras de ondas de radio, aquí podemos encontrar dos grupos diferentes: sistemas de posicionamiento mediante estaciones fijas y sistemas de posicionamiento mediante estaciones móviles. Los sistemas de estaciones fijas se han empleado desde hace décadas en la navegación de marítima y aeronáutica. Utilizan principalmente señales de radio de media y alta frecuencia que son emitidas por estaciones terrestres fijas. En particular, la invención en la década de los 50 del método conocido como *navegación hiperbólica* ha tenido una gran repercusión sobre la navegación tanto aérea como marítima. Este método permite la localización de un navío mediante señales periódicas y sincronizadas emitidas por radiofaros.

Los sistemas de estaciones móviles, en cambio, hacen uso de satélites situados en la órbita de la Tierra. El primero de estos sistemas nació en 1958, se denomina sistema TRANSIT o NNSS ("Navy Navigation Satellite System") y se desarrolló para el posicionamiento de navíos y submarinos militares. Este sistema está basado en el efecto Doppler, el cual utiliza cambio de frecuencia experimentado por las señales de radio transmitidas por los satélites.

Hoye en día el sistema más utilizado es el GPS ("Global Positioning System"), diseñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con el fin de crear un sistema de navegación preciso que desbancara los sistemas más antiguos, que precisamente eran los que utilizaban las mediciones Doppler sobre la constelación Transit.

El sistema GPS utiliza 24 satélites en 6 órbitas casi circulares a una altitud de 20.200 km (4 satélites por órbita). Cada uno de ellos transmite dos señales de radio en alta frecuencia, moduladas con un pseudo-ruido binario (PRN = Pseudo-Random Noise) en las que se codifican de forma compleja información sobre el instante en que la señal fue transmitida, información orbital, etc. El receptor calcula por triangulación la altitud, latitud, altura y velocidad del vehículo de forma "instantánea y continua" mediante el uso de la señal de, al menos, tres satélites. [14]

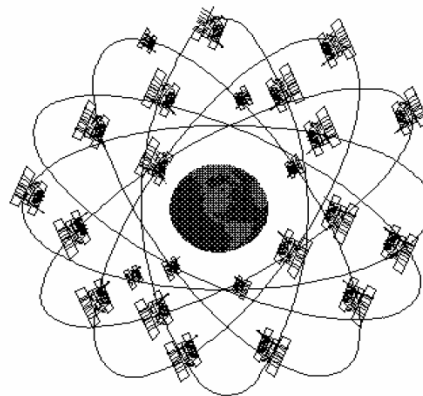


Figura 2.18: Órbitas satélites GPS

El sistema GPS posee una gran precisión en comparación con los sistemas antiguos, la cual se mueve entre 10 y 50 metros. Esta precisión depende de diferentes factores que introducen error en la señal, como son:

1. Retraso de la señal en la ionosfera y la troposfera.
2. Señal multirruta, producida por el rebote de la señal en edificios y montañas cercanos.
3. Errores de orbitales, donde los datos de la órbita del satélite no son completamente precisos.
4. Número de satélites visibles.
5. Geometría de los satélites visibles.
6. Errores locales en el reloj del receptor GPS.

Un factor importante en la precisión del GPS es el número de satélites disponibles o visibles, hasta el punto de que se puede obtener una precisión en torno a 2,5 metros si se captan entre 7 y 9 satélites. Aunque esta estimación precisa de posición ha estado restringida tradicionalmente a aplicaciones militares. Sin embargo, en los últimos años, el desarrollo del GPS diferencial (DGPS), basada en la corrección de error utilizando una estación base de coordenadas conocidas, está permitiendo incrementar de forma importante la precisión, pudiendo situarse en torno a un metro.

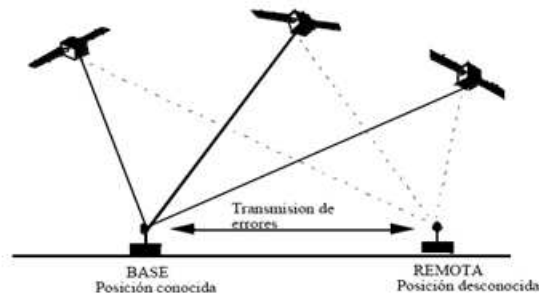


Figura 2.19: Estación GPS Diferencial

Dentro de los sistemas que utilizan señales conocidas para el posicionamiento de elementos móviles vamos a destacar el sistema más utilizado en robótica, sistemas basados en balizas.

Estimación mediante balizamiento:

Este método permite la localización del robot en entornos cerrados mediante el uso de señales enviadas por estaciones fijas (balizas) situadas en posiciones conocidas dentro de este entorno. El número mínimo de balizas necesarias para obtener la posición del robot dependerá del sistema empleado, aunque cuanto mayor será el número de balizas empleadas, menor será el error cometido en la estimación. Dentro de las configuraciones mínimas podemos diferenciar cuatro posibles:

- a) Es una de las configuraciones más utilizadas. En ella se utilizan tres balizas colocadas en las lindes del terreno formando un triángulo, estas emiten señales independientes que serán detectadas por el robot. El cual calculará mediante triangulación su posición en el entorno. Para ello se utilizan los ángulos entre las balizas y el robot.
- b) Es un caso semejante al anterior pero que utiliza solo dos balizas. En este método se obtiene la posición del robot utilizando los ángulos observados respecto al eje X.

- c) En esta configuración también se utilizan dos balizas, pero en este caso la información manejada son distancias en lugar de ángulos. En este caso sería necesario disponer de información adicional para poder determinar la localización del robot.
- d) En este caso sería posible utilizar una sola baliza si se combina información angular y de distancia. Lo que implica la necesidad de disponer de un sensor capaz de obtener ambas medidas.

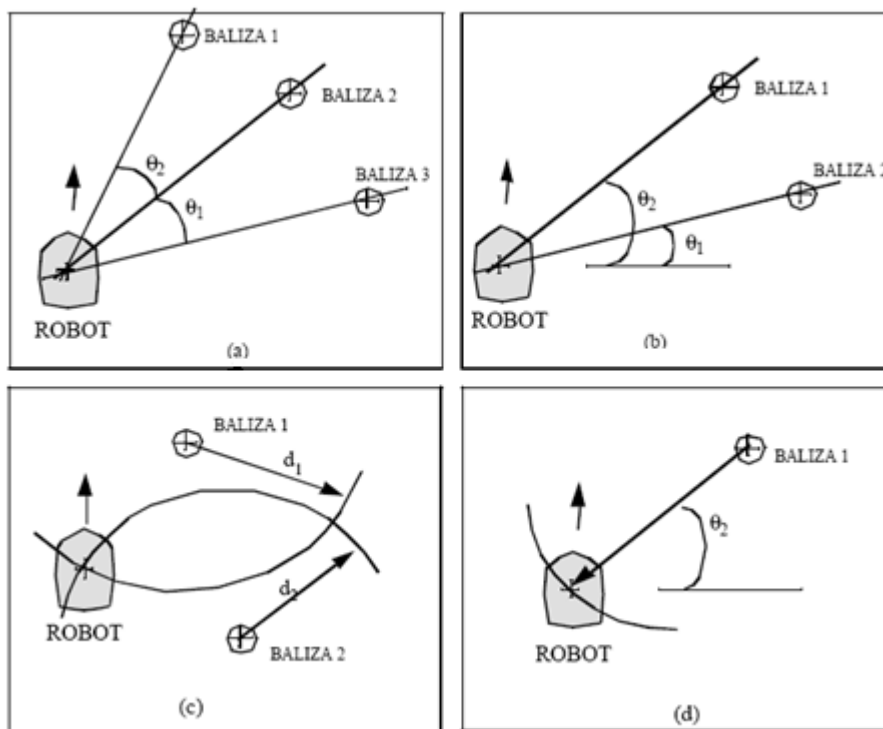


Figura 2.20: Configuraciones de un sistema de balizamiento

Para implementar cualquiera de estas configuraciones se pueden utilizar diferentes tipos de balizas y sensores. La precisión y fiabilidad que este tipo de estimación proporciona, depende fundamentalmente del tipo de señal utilizada (infrarrojos, láser, radio, ultrasonidos, etc.), de las características del sensor, y del número de balizas utilizadas en la triangulación.

Una posible implementación sería utilizando marcas en entorno, como pueden ser códigos de barras o señales luminosas, para que sean captadas por una o varias cámaras CCD instaladas en el robot. La configuración más común consiste en utilizar emisores de luz infrarroja en las balizas y un sensor giratorio instalado sobre el robot. Conocida la velocidad de giro del sensor óptico, el sistema determina los ángulos entre balizas consecutivas a partir del tiempo que transcurre entre las detecciones de éstas.

La posición del robot se estima, en este caso, a partir de estos ángulos mediante relaciones trigonométricas, mientras que la orientación se obtiene directamente midiendo el ángulo entre cualquiera de las balizas del entorno y el receptor del robot.

Este método es uno de los más precisos a la hora de obtener la localización de un robot. En contra, podemos destacar la necesidad de configurar el entorno de trabajo y asegurar que la visibilidad es correcta en todo momento. Lo que impide el uso de esta técnica en entornos con condiciones ambientales o de iluminación adversas.

B. Sistemas de percepción del entorno

En esta categoría podemos encontrar sistemas que permiten al robot determinar su posición a partir de la información del entorno aportada por el sistema sensorial del robot. La localización del vehículo se determina a través del emparejamiento de los datos extraídos del entorno por este sistema sensorial, con datos previamente conocidos acerca de éste. Esta información previa requerida puede provenir de un modelo conocido del entorno, o de anteriores observaciones. El sistema sensorial puede estar formado por diferentes clases de sensores, pasando por sónares, ópticos, de contacto o cámaras CCD, capaces de obtener varias clases de datos sobre las características del entorno.

Estos sensores se pueden clasificar en función de sus propiedades, tipo de señal de salida, tipo de parámetro a medir, etc. En nuestro caso haremos una división en función de la señal que generan hacia el entorno para poder realizar la medición, de esta manera podemos distinguir dos grupos diferentes: sensores activos y pasivos. Los sensores activos son aquellos que generan algún tipo de señal o medio para recoger la información del entorno, como puede ser luz infrarroja u ondas de radio. Por su parte, los sensores pasivos obtienen la información del entorno sin necesidad de apoyarse en una emisión propia, como puede ser una cámara CCD, la cual se limita a recoger la luz del exterior.[21]

▪ Sensores activos:

Este tipo de sensores se caracteriza por producir una señal que emiten al entorno para poder realizar la medida. En este grupo los más numerosos son los encargados de medir distancias. El principio de funcionamiento más utilizado es el denominado “tiempo de vuelo”, el cual consiste en medir el tiempo transcurrido ente la emisión de la señal (haz de luz, pulso, onda

modulada, etc.) y el eco correspondiente. A partir de esta medida y, teniendo en cuenta la velocidad de propagación de la señal, es posible estimar la distancia a la que el objeto ha sido interceptado.

El principal inconveniente de este tipo de medidas es la posibilidad de la aparición de interferencias por la presencia de varios sensores del mismo tipo en el área. Los sensores más comunes que utilizan este sistema para realizar medidas de distancia son sensores ópticos (infrarrojos, laser, etc.) y de ultrasonidos (sónar).

El mejor ejemplo de sensor infrarrojo es la gama GP2Dxx de Sharp. Estos sensores son unos dispositivos de reflexión por infrarrojos con medidor de distancia proporcional al ángulo de recepción del haz de luz que incide en un sensor lineal integrado.[13]

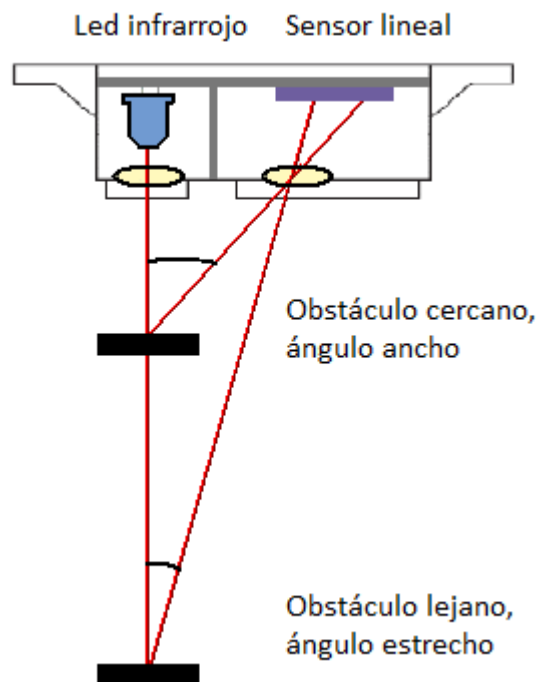


Figura 2.21: Detalle sensor infrarrojo

Dependiendo del modelo, la señal de salida puede ser de tres tipos diferentes:

- En los modelos analógicos la salida es un voltaje proporcional a la distancia medida.
- En los modelos digitales la lectura será de 8 bits serie con reloj externo.
- En los modelos Booleanos la salida será de 1 bit y este marcará el paso por la zona de histéresis del sensor con lo cual solo tendremos una medición de una distancia fija.

El sónar, también conocido como sensor de ultrasonidos, emite un pulso de presión que se propaga por el aire a la velocidad del sonido que tras reflejarse sobre un obstáculo es recogido por el receptor. Sus principales ventajas son su bajo coste y simplicidad. Sin embargo, son muy vulnerables a reflexiones especulares y al medio, al tiempo que presentan una muy pobre resolución angular (sobre 30 grados) y escasa fiabilidad para ángulos de incidencia mayores de 15 grados.



Figura 2.22: Detalle sensor ultrasonidos

En relación con los sensores láser, si bien de elevado coste todavía, están cobrando cada vez mayor significación en el campo de los robots móviles gracias a su precisión y fiabilidad. Utilizando uno o dos espejos convenientemente sincronizados es posible direccionar el rayo de luz láser, configurándose así un sensor de rastreo bidimensional o tridimensional, respectivamente. La luz láser utilizada opera en las proximidades del infrarrojo, lo que hace que estos sensores sean prácticamente insensibles a las condiciones de iluminación del entorno. Asimismo, la longitud de onda de la señal ($\sim 800\text{nm}$), la reducida divergencia del haz y las características propias de la luz láser, permiten obtener un eco incluso para superficies con un bajo coeficiente de reflectividad.



Figura 2.23: Sensor infrarrojo

- **Sensores pasivos:**

En esta división se incluyen aquellos sensores que no generan ningún tipo de señal externa para realizar las medidas. Pertenecen a este grupo las cámaras de video, sensores capacitivos, inductivos, magnéticos o de contacto. Siendo los más utilizados en robótica los sensores de contacto que permiten al robot detectar obstáculos y conocer la posición de sus miembros. Las cámaras de video son muy utilizadas para actividades que requieran el reconocimiento de marcas o colores.

Los sensores de contacto son los dispositivos más simples y robustos de todos los sensores que podemos encontrarnos, ya que son interruptores que se activan o desactivan si se encuentran en contacto con un objeto, de esta manera se reconoce la presencia de un objeto en un determinado lugar. Se pueden encontrar varias configuraciones posibles de sensores de contacto, pero el modelo más utilizado en robótica son los sensores de contacto de final de carrera (“bumpers” o “microswitches”). Estos sensores se componen de un conmutador de 2 posiciones con muelle de retorno a la posición de reposo y con una palanca de accionamiento más o menos larga según el modelo elegido.

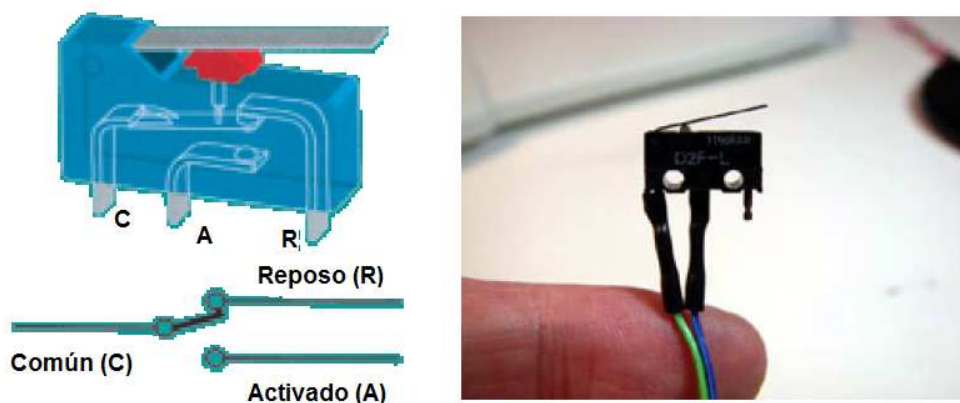


Figura 2.24: Detalle sensor de contacto

Las cámaras de vídeo son uno de los sensores más utilizados en percepción gracias a las numerosas ventajas que presentan: alta resolución, velocidad en la adquisición de la información, bajo consumo, no necesitan emplear dispositivos mecánicos y son relativamente baratas. Sin embargo, la fuerte dependencia de las condiciones ambientales de iluminación, así como la excesiva complejidad computacional requerida a la hora de obtener información tridimensional, hacen todavía difícil su utilización en muchas de las aplicaciones de robots móviles.

2.4 Eurobot

Eurobot es un campeonato de robótica para principiantes de todo el mundo, orientado principalmente para estudiantes y grupos de jóvenes con interés por la robótica. Eurobot nace tras la estela de la “Copa Francesa de Robótica”, la cual mueve a centenares de concursantes y de aficionados a la robótica cada año.

Con el nacimiento de esta nueva competición en 1998, se buscaba crear un medio mediante el cual jóvenes de todo el mundo pudieran dar rienda suelta a su imaginación y a su amor por la ciencia. De este modo se crearía un canal de transmisión de conocimientos e ideas, y a la vez pondría en contacto a los ingenieros que moverán el mundo en el futuro. Pero siempre en un ambiente de diversión y espíritu deportivo. [7]

Las pruebas de Eurobot tienen lugar en distintos lugares de Europa, pero esto no impide que se puedan presentar participantes de cualquier lugar del mundo. Los equipos deben de ser de 2 o más participantes, siempre con edades inferiores a los 30 años. La organización establece que los países con más de 3 participantes deben realizar una clasificación nacional. Esta clasificación consiste en un torneo nacional, del cual saldrán los 3 participantes que acudirán a la cita anual de Eurobot. Como indican las bases de Eurobot, de las fases nacionales saldrán los 2 equipos ganadores y un tercer equipo elegido por la organización nacional en función de diversos factores, como pueden ser la idea más innovadora, mejor diseño, etc.

Cada año, tanto la temática como el sistema de juego son diferentes. Últimamente se tiende a ambientar la prueba en temas y situaciones actuales. Como ejemplo, el reciclaje o el estudio de la superficie de Marte. Para ver la evolución de las pruebas y los temas, vamos a hacer un repaso por los juegos de las anteriores entregas. [6]

2.4.1 Pruebas anteriores:

1998. Fútbol

La competición era similar a un partido de fútbol jugado con más de una pelota, en particular se dispusieron ocho pelotas de tenis sobre el campo. Dos robots se enfrentaban intentando marcar el mayor número de goles en la portería contraria. En esta ocasión se presentaron nueve equipos de cinco países diferentes.

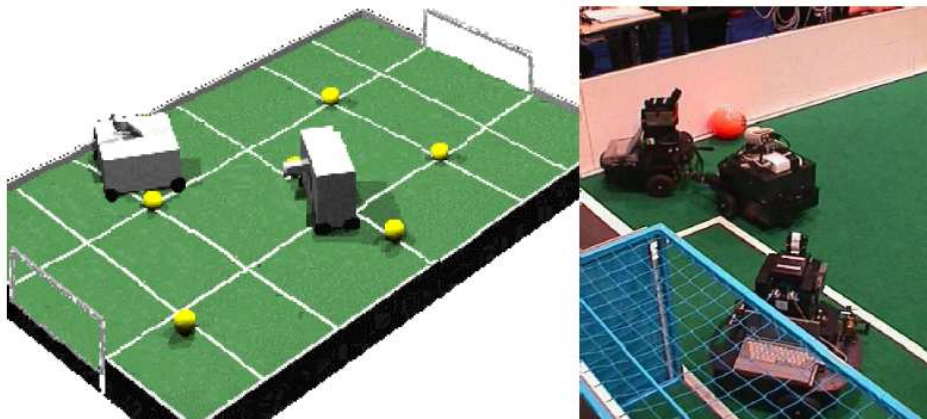


Figura 2.25: Tablero de juego EUROBOT 1998

1999. Ataque al castillo

El objetivo del juego era derribar castillo del contrario ya fuese por contacto directo o mediante el uso de pelotas de tenis que se encontraban repartidas por el terreno de juego. El campo se dividió en dos partes separadas por un barranco y unidas dos puentes. En cada lado del campo se alzaba un castillo construido a base de cilindros de madera apilados de modo que formasen torres. Se presentaron ocho equipos de cinco países diferentes.

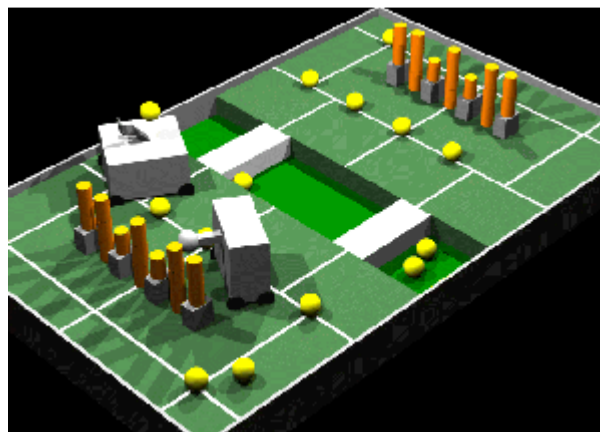


Figura 2.26: Tablero de juego EUROBOT 1999

2000. Parque de atracciones

En este encuentro se diseñó un terreno de juego de superficie montañosa dividido en dos partes, sobre el cual se dispusieron diez globos, cinco azules y cinco amarillos. Cada equipo debía reventar los globos del equipo contrario, estando prohibido el uso de proyectiles. Debido a la limitación impuesta al tamaño máximo de los robots no se permitió reventar los globos desde lejos. Se presentaron doce equipos de siete países diferentes.



Figura 2.27: Tablero de juego EUROBOT 2000

2001. Odisea en el espacio

Este año se trataba de conquistar el mayor número de planetas del equipo contrario en 90 segundos, para lo que se deberán colocar banderas de del color propio sobre los cilindros que representan los planetas. Se presentaron diecinueve equipos.

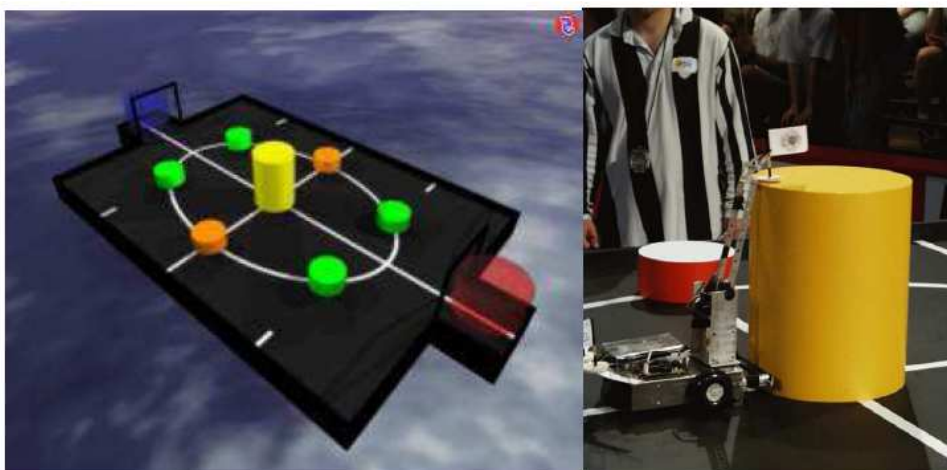


Figura 2.28: Tablero de juego EUROBOT 2001

2002. Billar aéreo

En esta edición los dos equipos buscaban introducir bolas de color negro en en los huecos de su lado y bolas rojas en el lado del equipo contrario. Para ello, se dispuso de un campo plano sobre el que se colocaron al azar ocho bolas rojas y cuatro negras. Juego para el cual se presentaron veintisiete equipos de diecisiete países distintos.

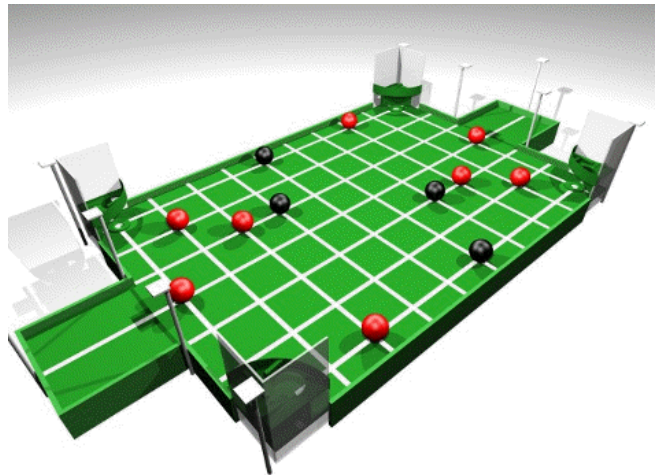


Figura 2.29: Tablero de juego EUROBOT 2002

2003. Cara o cruz

En 90 segundos cada equipo tenía que intentar colocar cara arriba el mayor número de discos de su color, sin limitación en la estrategia a seguir. Para ello se diseñó un campo rectangular sobre el que se colocaron discos con una cara verde y otra roja, y discos de un solo color. En esta ocasión se presentaron treinta y dos equipos de diecinueve países.

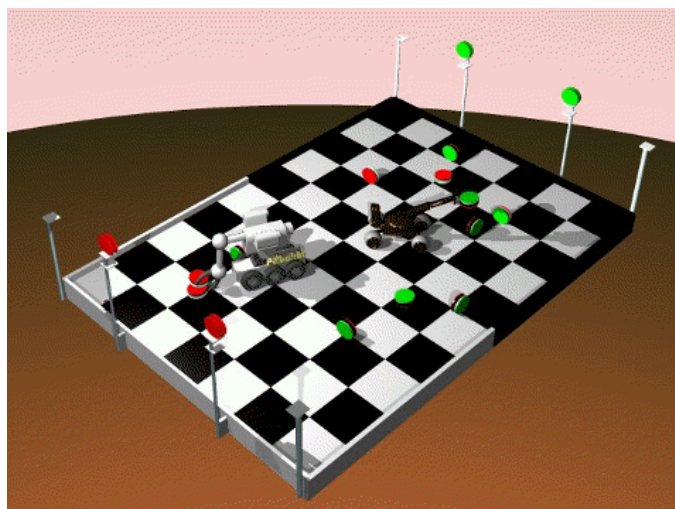


Figura 2.30: Tablero de juego EUROBOT 2003

2004. Rugby de cocos

Este año se construyó un terreno de juego que simulaba una isla, sobre este campo se disponían palmeras cargadas de cocos y porterías. El objetivo del juego consistía en recoger los cocos de las palmeras y de suelo para marcar goles lanzándolos a la portería del equipo rival. Se presentaron cuarenta y un equipos de veintidós países distintos.

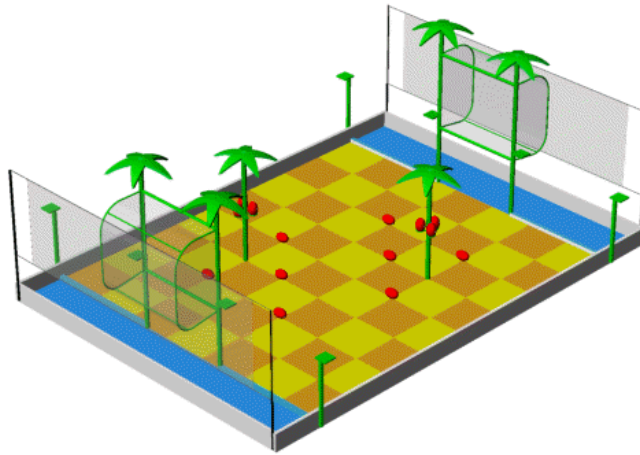


Figura 2.31: Tablero de juego EUROBOT 2004

2005. Bolos

El objetivo de la prueba de esta edición era el de derribar los bolos del rival empujando una pelota. La principal dificultad residía en el diseño del campo. El cual, se dividía en dos por un rio sobre el que pasaban tres puentes, a través de los cuales había que lanzar la pelota. Este año se presentaron cincuenta equipos.

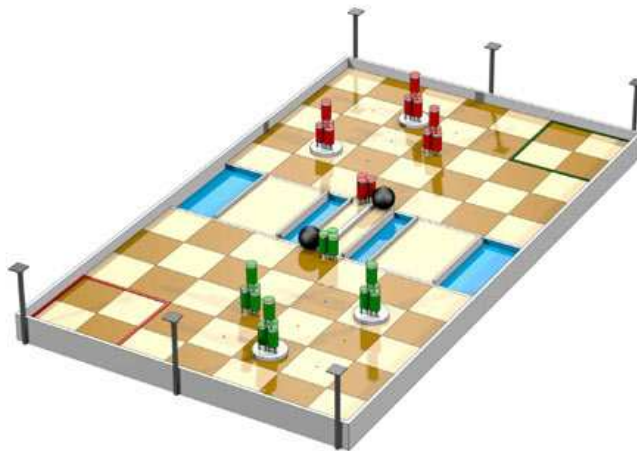


Figura 2.32: Tablero de juego EUROBOT 2005

2006. Minigolf

Para esta ocasión se dispuso de un campo de juego con una serie de hoyos marcados con los colores de los equipos rivales (azul y rojo). Los robots deberán puntuar introduciendo pelotas de color blanco en los hoyos de su color. Para esto, se distribuirán pelotas sobre la superficie de juego y en dispensadores colocados en las esquinas del campo de juego. Se presentaron cincuenta y cinco equipos.

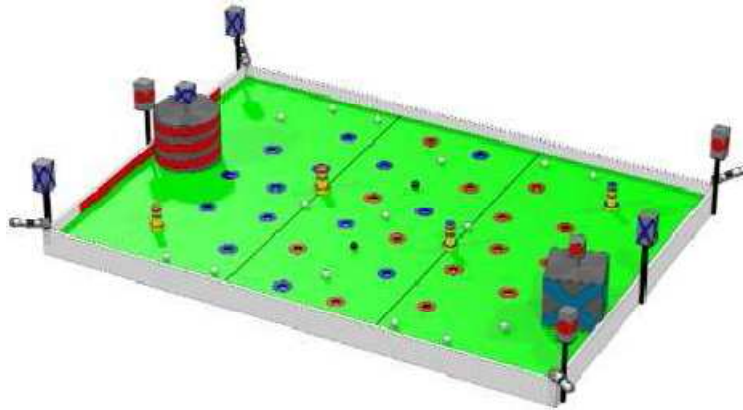


Figura 2.33: Tablero de juego EUROBOT 2006

2007. Rally de

En esta edición se buscaban robots recicladores que debían llevar la basura recogida a los contenedores de reciclaje adecuados. Esta basura estaba formada por botellas de plástico, latas de refresco y pilas, y los contenedores de reciclaje se dividían en cuatro porterías, dos por equipos, en las que se debía reciclar las latas y botellas y una cesta común donde se reciclarán las pilas. Este año se presentaron cincuenta y siete equipos de veintisiete países diferentes.

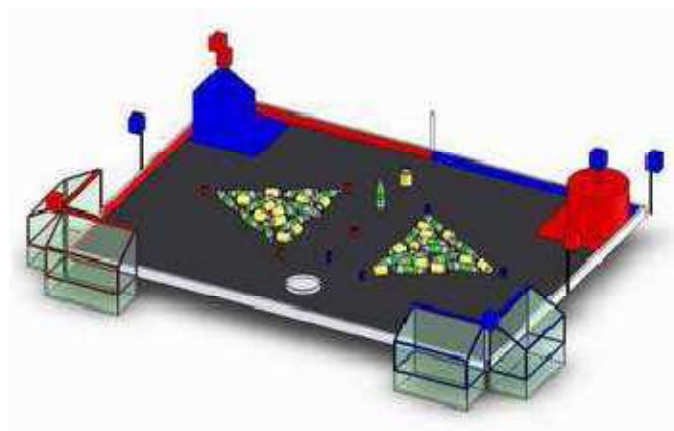


Figura 2.34: Tablero de juego EUROBOT 2007

2008. Misión a Marte

El año pasado el juego se ambientaba en una hipotética misión de reconocimiento y recogida de muestras en Marte. Estas muestras simulaban rocas con organismos vivos, las cuales se representaban por pelotas del color de los equipos participantes (azul y rojo) y muestras de hielos (pelotas blancas), todas ellas dispuestas en dispensadores y sobre el tablero de juego. Estas muestras recogidas deberán ser depositadas en contenedores refrigerados colocados en altura y en un contenedor estándar.

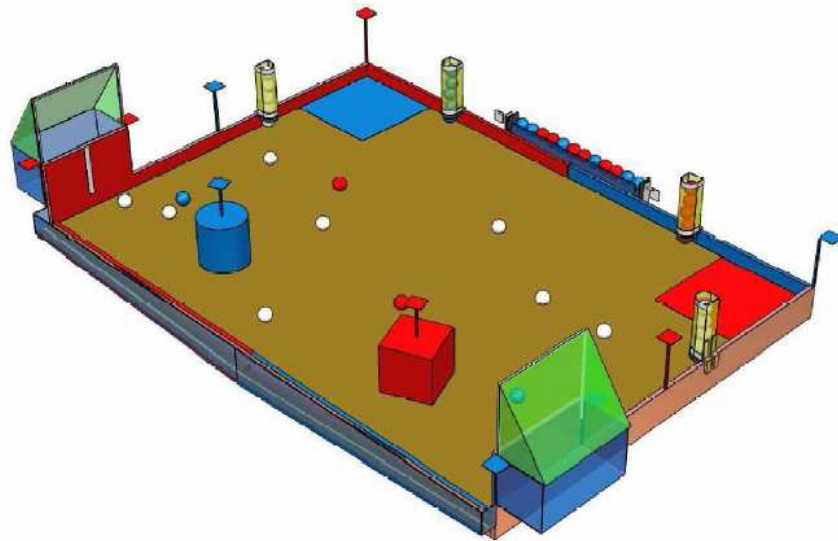


Figura 2.35: Tablero de juego EUROBOT 2008

CAPÍTULO 3:

PRUEBA 2009 Y SOLUCIÓN

3.1 La prueba 2009: Los templos de Atlantis

La prueba del año 2009 de Eurobot se sitúa en la isla mitológica de la Atlántida, donde sus habitantes deben encontrar un modo de construir sus templos para que estos sean tan altos y majestuosos que fueran capaces de resistir el paso del tiempo hasta nuestros días, allá donde se encuentre escondida la Atlántida. Así, la prueba de este año consiste en conseguir construir templos lo más altos posibles, en los terrenos más altos posibles. [7]

Los partidos serán disputados por 2 equipos, representados por el color rojo y el verde, color que diferenciará las zonas de inicio y las piezas de juego de cada equipo. Los equipos participantes solo podrían jugar con un robot. Cada partido tendrá una duración de 90 segundos y ganará el equipo que consiga el mayor número de puntos.

Estos puntos se consiguen en función de la altura de las piezas que componen las construcciones dentro de las zonas de edificación del campo de juego, cada pieza bien colocada tendrá el valor de la altura en la que se encuentra. Así, una pieza a ras de suelo valdrá 1 punto y una pieza colocada sobre esta valdrá 2. A su vez, el dintel deberá ser colocado sobre 2 columnas, y tendrá un valor de 3 por la altura en la que se encuentra.

Son validas todas las construcciones posibles, desde una única pieza hasta complejas estructuras con varios dinteles, siempre y cuando estén completamente dentro de la zona de edificación. Se considerarán templos las construcciones compuestas por 2 columnas paralelas unidas por un dintel en la parte superior, cerrando así un arco o puerta. Las columnas serán construidas mediante fichas cilíndricas de madera, y el dintel será representado por un rectángulo también de madera, ambas estructuras tendrán del color correspondiente al equipo.

Este año se quiere hacer hincapié en la importancia de construir, por lo que se penalizará cualquier tipo de destrucción voluntaria o involuntaria. Con esto se quiere disuadir cualquier acción mal intencionada contra las edificaciones del equipo contrincante. Además, para facilitar que el público pueda observar los sistemas de manipulación de las piezas de juego, es condición importante que sea visible el interior de los robots.

Todos los partidos serán supervisados por 2 árbitros. Para todos los partidos, al menos uno de los árbitros pertenecerá a un país diferente de los equipos participantes. Los árbitros serán los encargados de interpretar y aplicar las reglas durante los partidos, además de explicar a los equipos participantes la puntuación y sanciones aplicadas en cada momento. Siempre que sea necesario, los árbitros deberán de solucionar las posibles dudas que surjan durante los partidos.

3.2 Elementos de juego

3.2.1 Piezas de juego

Las piezas de juego para la prueba de este año se dividen en 2 tipos:

- Elementos de columna: Cilindros de madera con una altura de 30 mm, un diámetro de 70 mm y un peso de 100 gr.
- Dinteles: prismas rectangulares de madera con una longitud de 200 mm, un ancho de 70 mm, una altura de 30 mm y un peso de 300 gr.

Todas las piezas de juego poseen un chaflán de 2 mm en todos los vértices, con un ángulo de 45°. Estos elementos están pintados con los colores correspondientes a cada equipo y se encontraran el campo de juego según la siguiente referencia:

- 16 elementos de columna de color rojo. 6 situados en el campo y 10 entre los 2 dispensadores.
- 16 elementos de columna de color verde. 6 situados en el campo y 10 entre los 2 dispensadores.
- 2 dinteles rojos situados en los dispensadores de dintel, más un dintel opcional pre cargado.
- 2 dinteles verdes situados en los dispensadores de dintel, más un dintel opcional pre cargado.

Los robots participantes podrán controlar un máximo de 4 de elementos de columna a la vez. Esto quiere decir que no está permitido que ningún participante manipule directa o indirectamente más de 4 piezas al mismo tiempo. Por su lado, el número máximo de dinteles que un participante puede cargar no está limitado, excepto en el color, pues solo podrá transportar los de su propio equipo.

3.2.2 Campo de juego

El campo de juego representa la isla de la Atlántida, y en él se encuentran las zonas de edificación (que representan las colinas sagradas donde se situaran los templos), los dispensadores de piezas (que representan las canteras), los soportes para la colocación opcional de las balizas y las zonas de inicio.

El tablero del campo de juego tiene unas dimensiones de 2100 mm de ancho y 3000 mm de largo, y está pintado de color azul. Todo el campo está limitado por bordes que impiden que tanto las piezas como los robots salgan del tablero.

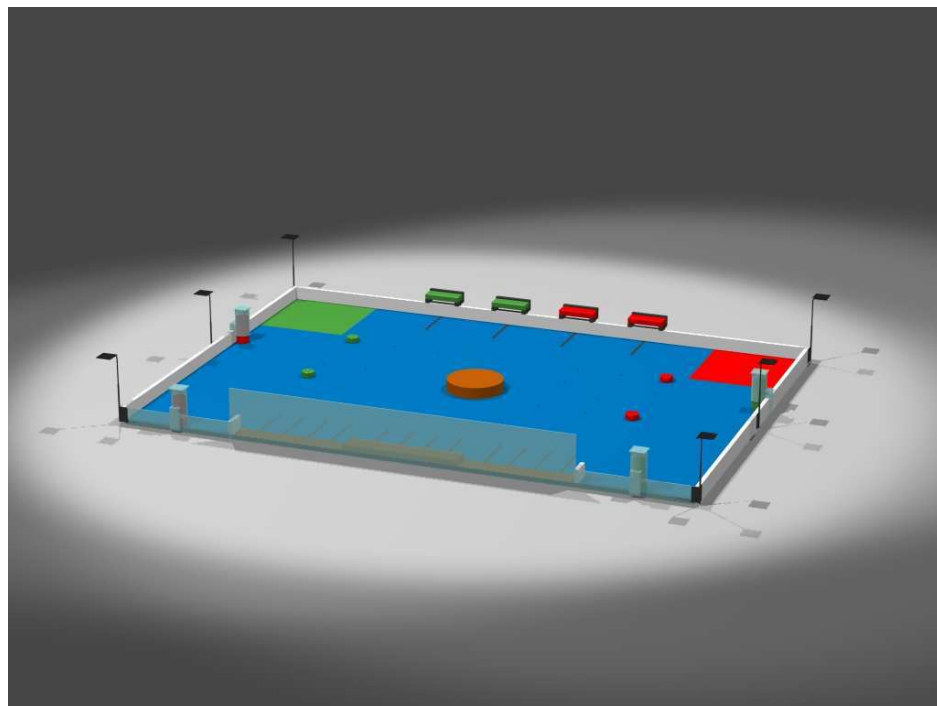


Figura 3.1: Tablero de juego EUROBOT 2009

3.2.2.1 Zonas de inicio

Al comienzo de cada partido, los robots de ambos equipos deben estar totalmente contenidos sobre su zona de inicio, independientemente de su orientación. Las zonas de inicio se sitúan en las esquinas traseras del tablero y consisten en 2 cuadrados de 500 mm de lado. Cada zona está pintada con el color correspondiente a cada equipo, es decir, rojo y verde.

3.2.2.2 Soportes para balizas

Dado que los robots pueden hacer uso de balizas para su propia localización o de los dispensadores, en el campo existen diferentes tipos de soportes para estas balizas. Todos los soportes son cuadrados de 80 mm de lado y están cubiertos de velcro en su parte superior.

Existen 2 tipos de soportes para balizas en el campo de juego:

- A. Soportes terrestres: Este tipo de soportes se sitúan en los 4 vértices del tablero y en el punto medio de cada cara lateral. Están colocados a una altura de 350 mm sobre el nivel del tablero y son de color negro. Los soportes de esta clase son asignados a cada equipo según el siguiente diagrama.

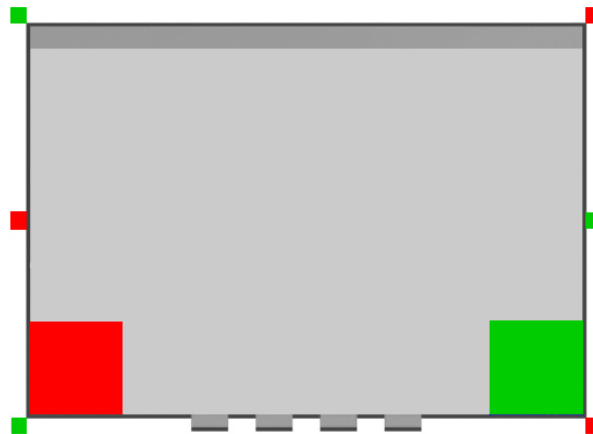


Figura 3.2: Distribución soportes terrestres para balizas

- B. Soportes para balizas sobre dispensadores: Este tipo de soportes están colocados sobre los 4 dispensadores de elementos de columna. Son asignados a cada equipo según el color de las piezas que contienen.

3.2.2.3 Bordes

Los bordes del campo de juego tienen una altura de 70 mm sobre el nivel del tablero y 22 mm de grosor. Los bordes de las caras laterales y la trasera están contruidos en madera y pintados de color blanco. Por su parte, el borde del lado delantero del campo consta de 2 partes:

- Una parte baja fabricada en Plexiglás de igual tamaño que el resto de los bordes. Esto permite que el público vea como los robots toman las piezas de los dispensadores.
- Una parte alta frente las zonas de edificación fabricada en Plexiglás con una altura de 250 mm. Esta lámina permite que el público vea las construcciones realizadas por los robots además de servir de soporte para estas.

3.2.2.4 Zona de edificación

Las zonas de construcción son comunes para los dos equipos, y son las únicas zonas del campo de juego donde es posible puntuar. La zona de edificación se divide en 4 partes, todas ellas pintadas de color marrón:

- Una parte elevada en la parte central de la cara delantera del campo [2] con unas dimensiones de 600 mm de largo, 100 mm de y una altura de 30 mm. Esta zona de edificación se considera nivel 2.
- Dos partes a nivel del tablero, en la cara frontal del campo [1] a ambos lados de la parte central citada con unas dimensiones de 600 mm de largo y 100 mm de ancho. Estas dos zonas de edificación se consideran nivel 1.
- Una zona circular elevada localizada en el centro del tablero [3] con un diámetro de 300 mm y una altura de 60 mm. Esta zona de edificación se considera nivel 3.

Las zonas de edificación situadas al nivel del tablero tienen a su extremo un borde de iguales características al borde del campo. Frente a estas zonas se han pintado líneas negras de ayuda para construir templos con la separación correcta entre columnas.

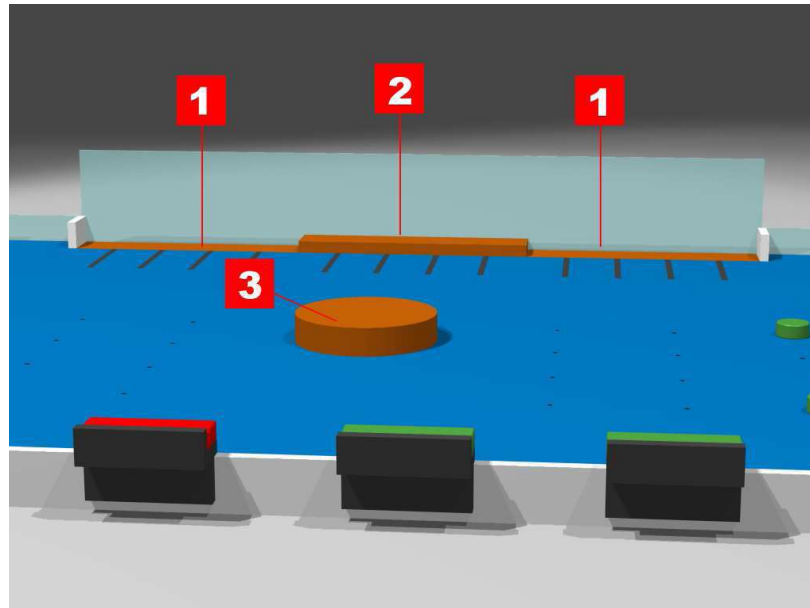


Figura 3.3: Zonas de edificación

3.2.2.6 Zonas de dispensación de piezas

Las zonas de dispensación de piezas son los lugares del campo de juego donde el robot podrá coger las piezas necesarias para realizar las construcciones. Al comienzo de cada partido las piezas de juego se encontrarán situadas de la siguiente manera:

- 12 elementos de columna sobre el tablero: 6 rojos y 6 verdes.
- 20 elementos de columna en los dispensadores. 5 piezas por dispensador y color.
- 4 dinteles colocados en sus bases, 2 de cada color.

A. Dispensadores de elementos de columna

Existen 4 dispensadores de elementos de columna, cada equipo posee 2, los cuales se encuentran en el lado contrario a la zona de inicio del equipo y solo guardan piezas de un mismo color. Este tipo de dispensadores están colocados en el campo de la siguiente manera:

- Dos dispensadores fijos en la parte frontal del campo a una distancia de 289 mm del borde lateral. [1]

- Dos dispensadores móviles en las caras laterales del tablero que serán colocados en posiciones aleatorias al comenzar el partido. Para ello se usaran las tarjetas de juego que poseen los árbitros. [2]

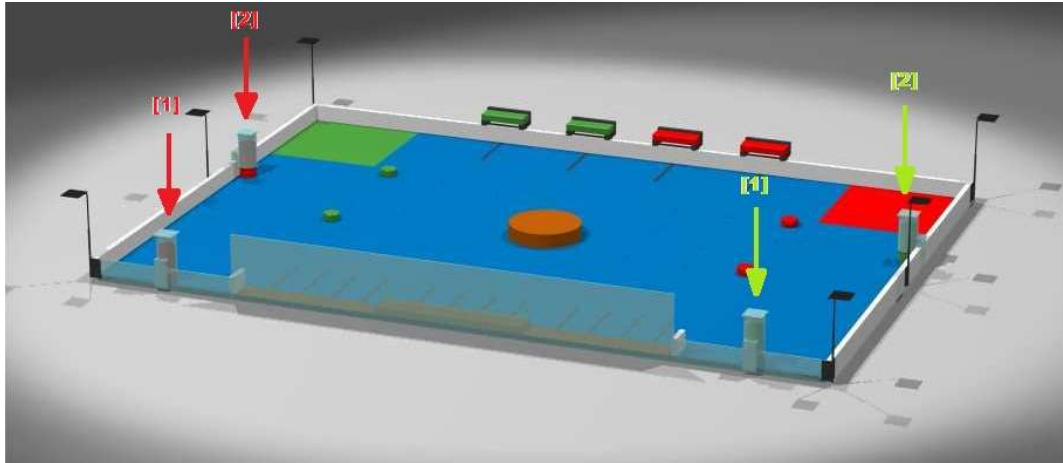


Figura 3.4: Distribución dispensadores

Los 4 dispensadores están fabricados a partir de un tubo transparente, dejando que el público y los componentes de los equipos vean el número de piezas que contienen. Se sujetan al tablero mediante un saliente recto situado en la proyección horizontal del tubo, por lo que ninguna parte de este elemento sobresaldrá del tubo.

Todos están situados a una altura tal que solo pueda ser extraída del dispensador una pieza a la vez. Una vez se ha extraído una pieza, la siguiente caerá en la posición de la anterior.

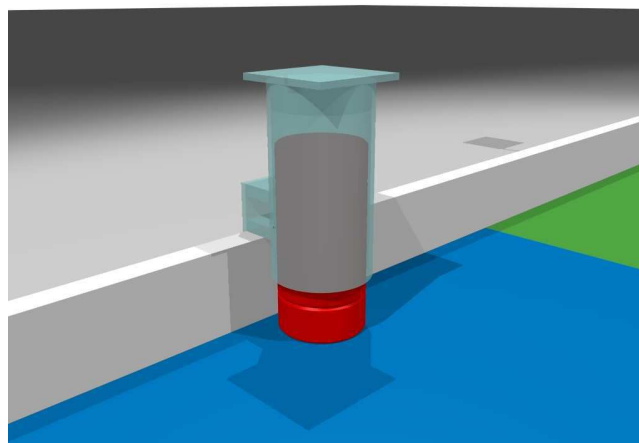


Figura 3.5: Detalle dispensador

B. Soportes de dintel

Los soportes de dintel son los lugares donde se puede recoger un dintel. Existen 4 de estos soportes en la cara posterior del campo de juego fuera de la superficie del tablero, cada uno de ellos contiene un único dintel. Están colocados de tal forma que los dos dinteles de cada color se sitúan en la mitad del tablero donde se encuentra la zona de inicio de ese mismo color.

Los soportes están contruidos de manera que dejan un hueco entre el dintel y la parte superior del borde del tablero, de manera que se facilita el acceso de una posible pinza de agarre u otro sistema de recogida.

Para facilitar el posicionamiento del robot frente a estos soportes se han pintado líneas de apoyo frente cada uno de ellos de manera tangencial al borde del campo.

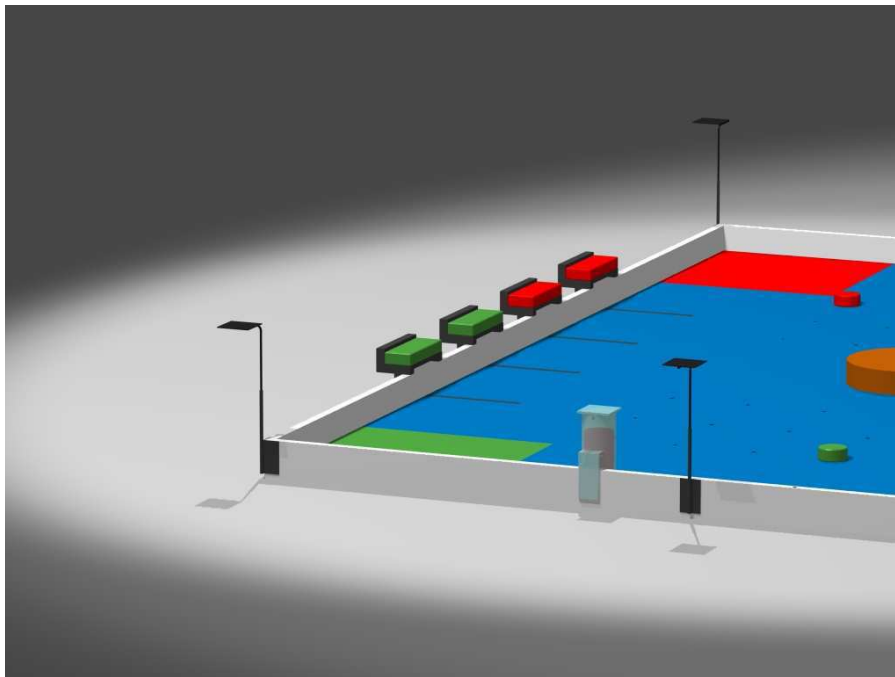


Figura 3.6: Detalle dispensadores de dintel

C. Piezas libres

Sobre el tablero se ha pintado 12 zonas de colocación para elementos de columna junto a cada zona de inicio. Dos de esas localizaciones son fijas (indicadas en la imagen por 2 piezas) y las otras 10 son aleatorias (indicadas en la imagen por puntos negros), y serán decididas antes de comenzar el partido.

Sobre las 10 localizaciones aleatorias se colocarán los 4 elementos de columna restantes de cada equipo. Para ello se utilizarán las tarjetas de juego que disponen los árbitros.

Las posiciones son simétricas para cada lado del campo, de forma que no se favorecerá a ningún equipo. Y se encontrarán pintadas sobre el tablero como puntos de color negro.

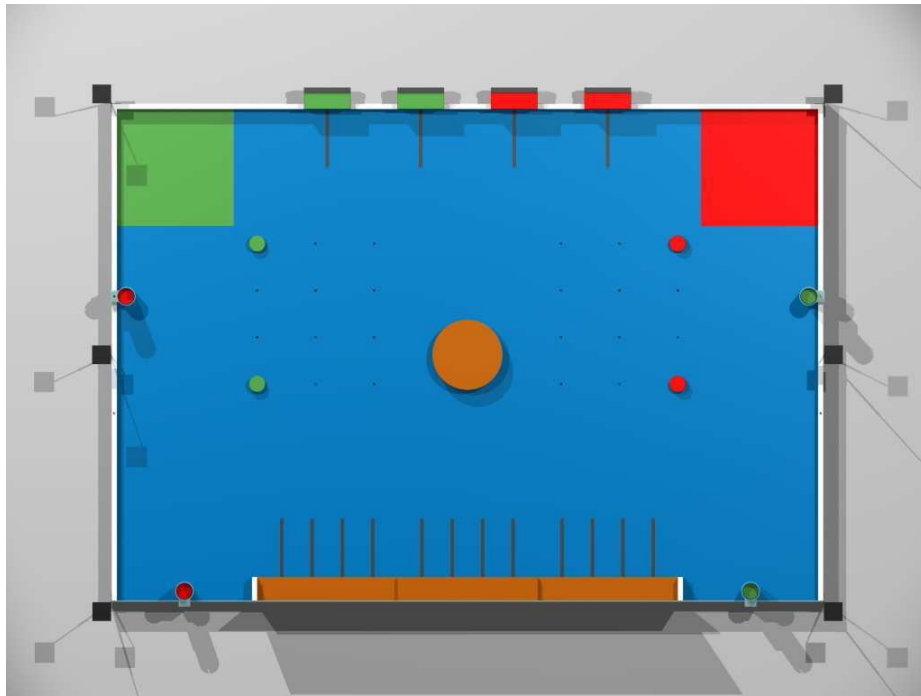


Figura 3.7: Posiciones de las piezas libres

D. Dintel pre cargado

Los equipos tienen a opción de cargar un dintel en su robot antes de comenzar el partido. Este dintel no reduce el número de dinteles situados en los soportes del campo, si no que se trata de un dintel extra. Si alguno de los equipos participantes decide no incluir esta pieza extra, ésta quedará fuera del juego.

3.2.3 Puntuación

Una vez ha terminado el partido se procede al recuento de los puntos de cada equipo. Esta puntuación está formada por los puntos obtenidos por construcción, los puntos compensatorios por destrucción y las penalizaciones aplicadas durante el partido. Además, en los partidos de clasificación se otorgarán puntuaciones extras a ambos equipos participantes en función del resultado del partido.

A continuación se detallan los diferentes sistemas de puntuación.

A. Puntos de juego

Estos puntos se obtienen por realizar construcciones. Estas construcciones deben ser realizadas en las zonas de edificación detalladas en el apartado 3.2.2.4 “Zona de edificación”.

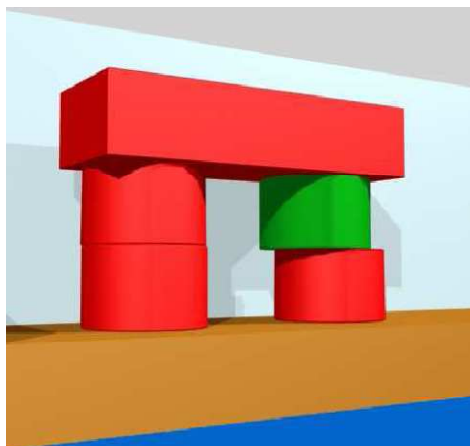
Se considerará válido todo elemento de columna que se deposite horizontalmente sobre las citadas zonas de edificación y esté totalmente contenido en ellas. Y todo aquel que se encuentre colocados horizontalmente sobre otro válido.

Será válido todo aquel dintel colocado sobre su cara con mayor superficie y sea soportado por lo menos por dos elementos de columna válidos.

Las puntuaciones obtenidas por los elementos válidos son las siguientes:

- Un elemento de columna válido tiene un valor igual al nivel en el que se encuentra respecto del tablero.
- Un dintel válido acumula un número de puntos igual a la altura que se encuentra respecto del nivel del tablero multiplicado por 3.

A continuación se muestra un ejemplo de cálculo de puntos para una construcción realizada en el nivel 2.



Equipo rojo

Columna izquierda: $2+3=5$

Columna derecha: 2

Dintel: $4 \times 3 = 12$

Total: 19 puntos

Equipo verde

Columna derecha: 3

Total: 3 puntos

Figura 3.8: Detalle construcción

B. Compensación por destrucción

Dado que este año se quiere mostrar la importancia de respetar las construcciones, se penalizarán todas las estrategias que busquen la destrucción o desmantelación, total o parcial, de las edificaciones del oponente.

Esta penalización se basa en otorgar puntos extra al participante afectado. Esta puntuación dependerá de la zona donde se encontraran las construcciones dañadas.

- 10 puntos por cada columna dañada o dintel derribado que se encontrara en el nivel de edificación 1.
- 15 puntos en el caso del nivel 2.
- 20 puntos en el caso del nivel 3.

C. Penalizaciones generales

Toda acción que desobedezca las reglas o atente contra el espíritu de juego limpio será sancionada con puntos de penalización por los árbitros. Esto consiste en restar 3 puntos al total obtenido por el equipo durante el partido.

Si los árbitros lo creen necesario, podrán advertir a los integrantes del equipo por alguna acción negativa. Si durante los sucesivos partidos se vuelve a detectar la misma acción negativa, el equipo podrá ser sancionado por ello.

Siempre se podrá sancionar más de una vez un tipo de actuación si el árbitro lo considera necesario.

Ejemplos de posibles acciones negativas son:

- Una colisión violenta contra el oponente.
- Cuando se considera que el robot es peligroso para la integridad del campo de juego, el público o el oponente.
- Cuando un robot impide, deliberadamente, de la realización de las acciones necesarias para jugar a su oponente.
- Si el sistema de desconexión de emergencia del robot no funciona correctamente.
- Si un robot saca los elementos de juego del oponente del campo de juego.

D. Puntos de partido

Los puntos de partido se otorgarán en los partidos de clasificación en función del resultado.

- 10 puntos por una victoria.
- 6 puntos por un empate.
- 2 puntos por una derrota.
- 0 puntos por no salir de la zona de inicio al empezar el partido.

Si ambos equipos obtienen una puntuación de 0 puntos, se considerará una doble derrota, con lo que se otorgará a cada equipo 2 puntos de partido.

3.2.4 Los robots

El robot debe ser una maquina totalmente autónoma. Por lo que debe contener su propia fuente de alimentación, actuadores y sistema de control. Todas sus partes deben estar físicamente conectadas, de manera que no pueda desprenderse de elementos propios en el campo de juego.

Todo robot debe cumplir la normativa marcada por la organización. Con este fin, todos los equipos deberán pasar las pruebas de homologación antes de poder entrar a formar parte de las series de clasificación.

Los equipos solo tienen permitido participar en el torneo con un robot. Es decir, que no está permitido que un equipo inscriba varios robots que presenten características diferentes. Además, cualquier modificación estructural realizada durante el transcurso de la competición deberá ser aprobada en una nueva fase de homologación.

A continuación se describirán las características generales que deben cumplir los robots para poder participar en el torneo.

A. Dimensiones

Los robots pueden tener elementos desplegables, los cuales deberán estar replegados antes del inicio del partido. De esta manera las dimensiones del robot se miden en dos fases, “configuración inicial” y “configuración desplegada”.

El perímetro del robot en su “configuración inicial” no puede exceder los 1200 mm, y en su “configuración desplegada” no excederá los 1400 mm. La altura máxima permitida es de 350 mm, sin incluir el soporte para balizas.

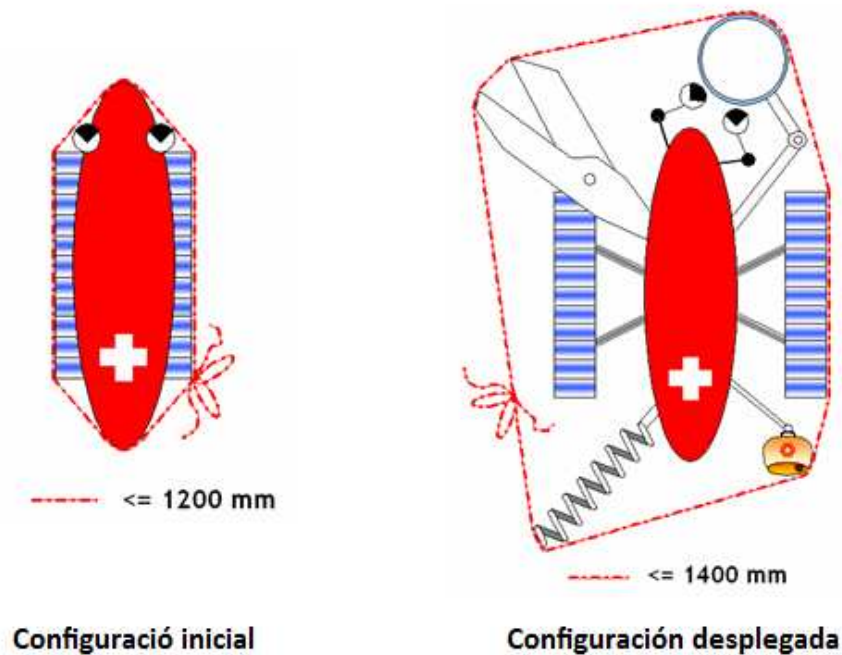


Figura 3.9: Tamaños máximos permitidos

B. Visibilidad

Con el objetivo de que el público asistente a los partidos pueda ver claramente el sistema de manipulación de piezas de los robots, la organización pide a los equipos que el interior del robot sea visible.

C. Elementos de mando

Todo robot debe poseer 4 sistemas de mando imprescindibles:

- Apagado automático accionado a los 90 segundos de partido.
- Botón de parada de emergencia de al menos 20 mm de diámetro y de color rojo. Debe estar colocado en la parte superior del robot y ha de ser totalmente accesible por los árbitros.
- Sistema de inicio. Este sistema debe consistir en un cordón de al menos 500 mm de largo, mediante el cual se inicie el robot tras tirar de él.
- Sistema de evasión de obstáculos. Con lo que se eviten colisiones con otros participantes y elementos del campo.

D. Sistema de alimentación

Solo están permitidas las fuentes de alimentación que incluyan gas presurizado, células solares y todos los tipos de baterías comerciales, siempre y cuando sean de electrolito sólido.

Es completamente necesario que la fuente de alimentación utilizada sea capaz de permitir que el robot juegue 2 partidos consecutivos.

E. Sistema de control

Los equipos podrán utilizar cualquier sistema de control en el robot, como pueden ser microprocesadores, lógica programable u ordenadores. Estos sistemas de control deben estar totalmente integrados en el robot, y deben permitir que este sea capaz de jugar con cualquier color.

F. Generalidades y seguridad

Los robots solo pueden controlar 4 elementos de columna de manera simultánea. Deberán tener necesariamente 2 áreas de 100 mm x 70 mm en su estructura externa para colocar los adhesivos con el número de concursante y los patrocinadores del concurso.

El robot no podrá tener partes afiladas, aristas vivas ni líquidos corrosivos que puedan ser peligrosos para la integridad del oponente, público, árbitros o el campo de juego.

3.3 Solución

Tras estudiar las normas y las posibles situaciones de juego, se plantearon varias soluciones posibles para la recogida de las piezas, la construcción interior y el sistema para depositar las piezas en la zona de edificación. Se buscaba un sistema lo más sencillo posible para obtener la mayor fiabilidad, y que permitiera tomar las piezas tanto del suelo como de los dispensadores. Con esto se podrían diseñar varias estrategias de juego y salir de alguna situación comprometida.

Así, se decidió que la manera más sencilla de recoger las piezas era utilizar un sistema de palas que empujaran los elementos de columna hacia el interior del robot. Además, este sistema permitirá tomar piezas tanto del tablero como de los dispensadores. Ya que mientras una pala se encargará de sujetar la pieza que va a caer, la otra moverá la primera pieza al interior del robot.

Para construir columnas es necesario elevar las piezas, ya que hay que colocar unos elementos sobre otros. Para esta labor se plantearon diferentes métodos, desde sistemas de vacío hasta sistemas de elevadores movidos por poleas. Finalmente se eligió montar una cinta transportadora dentada, ya que es un sistema muy sencillo y eficaz, y que no ocupará excesivo espacio dentro de la estructura del robot.

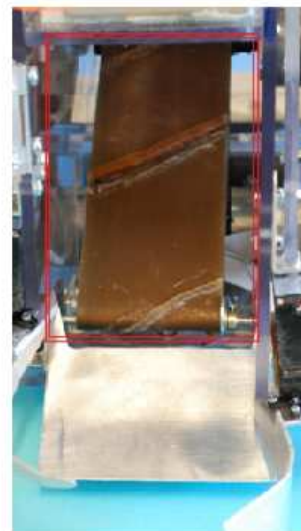
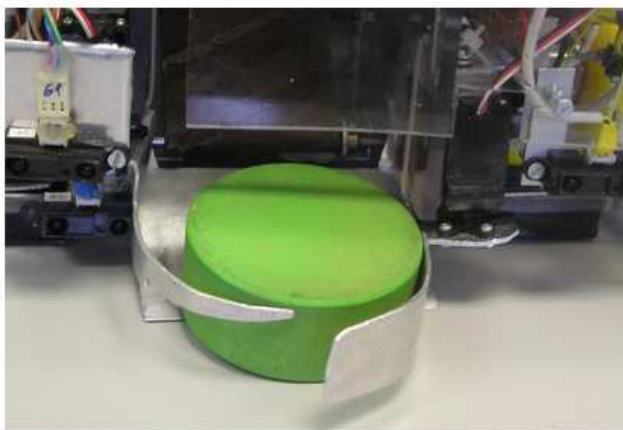


Figura 3.10: Detalle sistema de recogida

Una vez se han elevado las piezas a la zona de montaje, estas deben ser colocadas para formar las dos columnas. Tras varias pruebas, se tomó un sistema de palas que empujaban las piezas a dos niveles. Después de que la cinta transportadora deje caer las piezas sobre la zona de montaje, estas palas seguirán la secuencia necesaria para colocar las piezas inferiores [1] y las superiores [2].

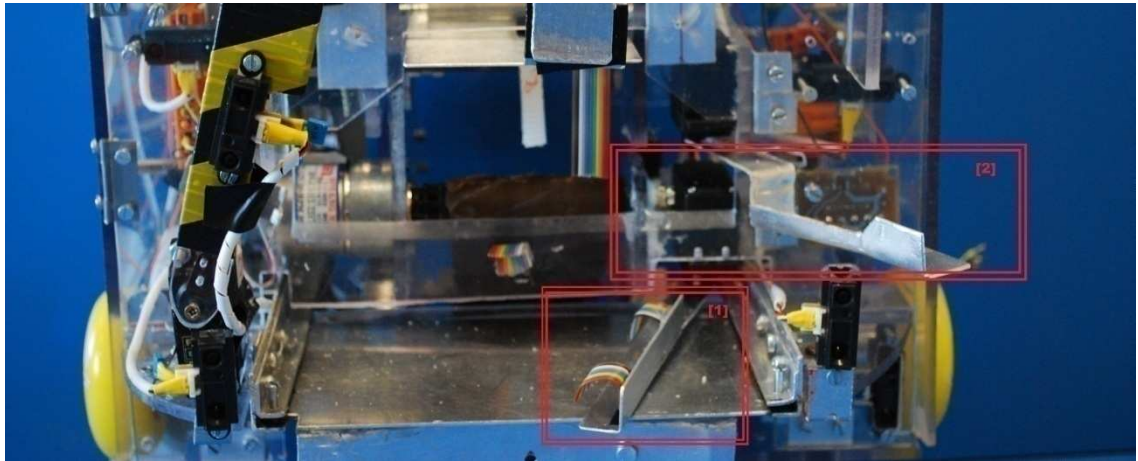


Figura 3.11: Detalle palas sistema construcción

Finalmente, había que decidir como depositar las columnas sobre las zonas de edificación, especialmente la más elevada. Se buscaba un método que permitiera colocar la construcción entera rápidamente. Para ello se diseñó una bandeja retráctil, ya que mediante el simple gesto de empujar, toda la construcción queda colocada sobre la zona de edificación correctamente. Y una vez hecho esto, solo hay que retirarse para que la bandeja vuelva a su posición original. Para poder implantar este sistema, únicamente es necesario que la cinta transportadora eleve las piezas por encima del nivel de la zona de edificación más alta.

Una vez se ha introducido el concepto de la posible solución, se detallarán a continuación los distintos bloques que componen el microrobot, haciendo hincapié principalmente en los apartados que integran el sistema de locomoción y sistema de posicionamiento, ya que son el alma de este proyecto.

El microrobot puede ser dividido en 8 bloques. Estos bloques se agrupan en cuatro grandes módulos:

- | | | |
|--|---|-------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none">• Estructura• Sistema de recogida de piezas• Sistema de construcción interior• Sistema de edificación | } | Módulo 1:
Manipulación |
| <ul style="list-style-type: none">• Sistema de alimentación• Sistema de control | } | Módulo 2:
Bloque principal |
| <ul style="list-style-type: none">• Sistema de tracción | } | Módulo 3:
Locomoción |
| <ul style="list-style-type: none">• Sistema sensorial y de localización | } | Módulo 4:
Posicionamiento |

CAPÍTULO 4:

MÓDULO 1: MANIPULACIÓN

En este capítulo se hará una descripción general de los diferentes bloques que integran el sistema de manipulación de piezas del microrobot.

4.1 Estructura

La estructura del robot está totalmente condicionada por la estrategia adoptada para enfrentarse al juego. Y por ello fue diseñada para adaptarse a los elementos ideados para llevar a cabo esta solución, como se describió en el apartado 3.3 “Solución”.

Dado que existen limitaciones de tamaño, la construcción de la estructura del microrobot parte de un prisma cuadrado con el tamaño máximo permitido, a partir de ahí se dio forma según las necesidades. Por otro lado, la organización quería que el público fuera capaz de ver lo que ocurre dentro de los microrobots, por lo que decidimos construir la estructura externa e interna de policarbonato extruido, pues es transparente, barato, robusto y fácilmente manipulable.

El sistema de edificación iba a estar constituido por una bandeja retráctil en la parte trasera, sobre la cual se construirán las columnas y que será la encargada de depositar la construcción. Esto hacía inevitable que la base dejase de ser cuadrada, pues en la parte trasera había que dejar sitio libre para el movimiento de la bandeja al chocar con la zona de edificación central. Así que se construyó una base de dimensiones 17.1 x 30.5 cm. (Ver “Dimensiones de la base” en Anexos)

El siguiente reto era la distribución de pesos, pues ya no teníamos una base cuadrada y había que tener en cuenta que cuando la construcción se encontrara sobre la bandeja, habría un peso de 700 gramos en la parte delantera del microrobot (con dintel, sin dintel 400 g), que lo inclinarían hacia adelante. Por ello se colocaron los motores en la parte delantera y una bola loca en la parte posterior como sustento, y se colocó la batería en la parte trasera, con lo que se evitaba que el peso de las piezas desequilibrara el robot.

Posteriormente, se observó que el robot se inclinaba hacia adelante debido a la fuerte tracción inicial de los motores, por lo que se colocaron dos ruedas locas en los vértices de la cara trasera.

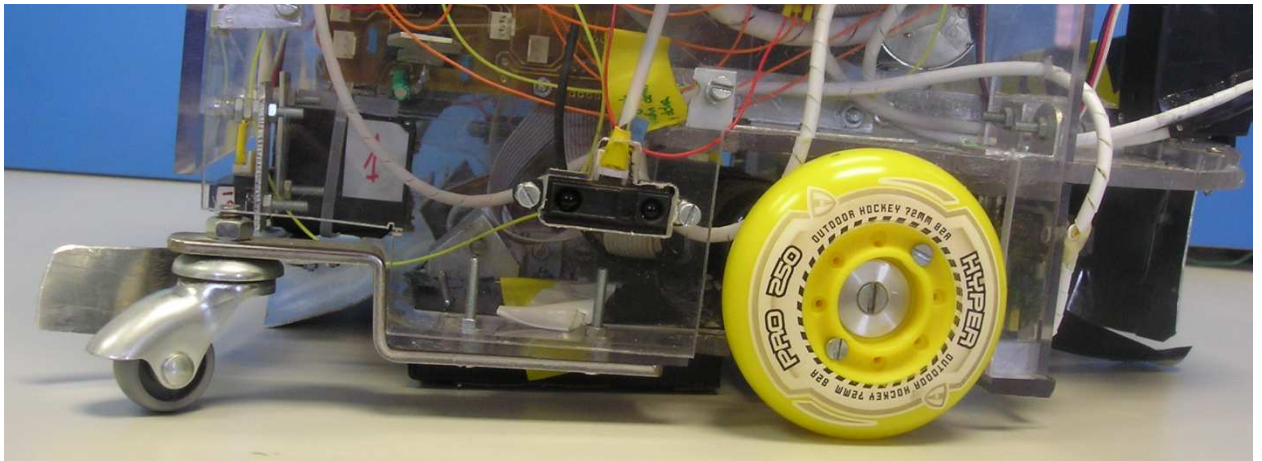


Figura 4.1: Detalle ruedas

La parte interna quedó dividida en tres compartimentos, la parte central, en la que se situó la cinta transportadora encargada de subir las piezas a la zona de construcción, y los dos espacios a los lados de hueco de la cinta transportadora, los cuales se usaron para colocar los sensores y la electrónica necesaria. La electrónica, formada por placas impresas PCB y la placa base fue ordenada sobre bandejas de policarbonato para una fácil extracción y colocación.

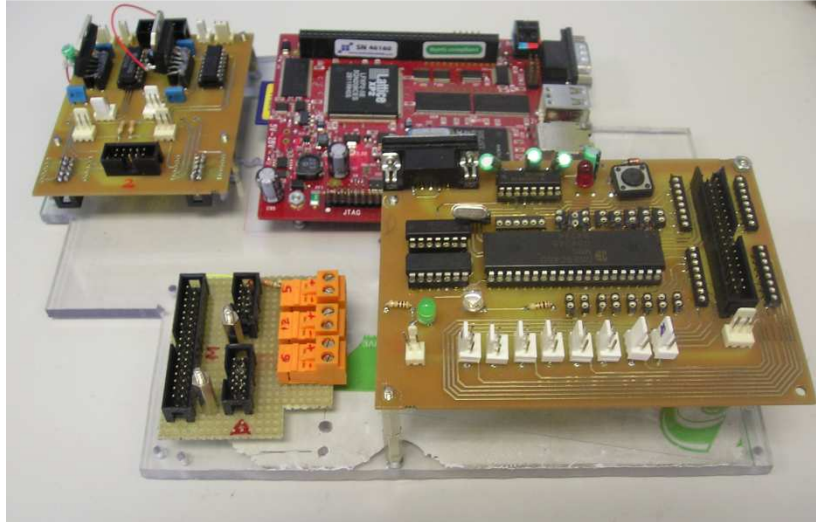


Figura 4.2: Detalle bandeja para placas de control

Finalmente, en el techo se situó el selector de color de juego, la seta de emergencia y el soporte para las balizas. Tanto el techo, como las paredes delantera y derecha se hicieron abatibles mediante bisagras, de este modo se facilitaba la manipulación interna del robot.

4.2 Sistema de recogida de piezas

La estrategia elegida se basaba en tomar las piezas situadas en el campo en primer lugar y posteriormente tomar las de los dispensadores. Por eso, era necesario diseñar un sistema que funcionara en ambas situaciones. Las piezas eran cilíndricas y tenían un peso de 100 gramos.

Se barajaron diferentes medios para manipular las piezas, teniendo en cuenta que estos sistemas deberían encajar con el resto de bloques del microrobot. Sistemas basados en hélices flexibles no tenían suficiente fuerza como para mover las piezas, sistemas basados en vacío requieren una infraestructura compleja y delicada y métodos basados en pinzas ocuparían demasiado espacio.

Por ello, la solución más sencilla, y que se adaptaba a las necesidades del equipo, era un modelo basado en dos palas articuladas que movieran las piezas hacia el interior a través de una rampa. Este sistema permitiría tomar piezas del suelo y de los dispensadores. Ya que para coger una pieza de los dispensadores, una actuará de tope sujetando la siguiente pieza y la otra introducirá la primera pieza en el interior del microrobot. Entonces el sistema de recogida se basa en dos elementos: dos palas articuladas y una rampa.

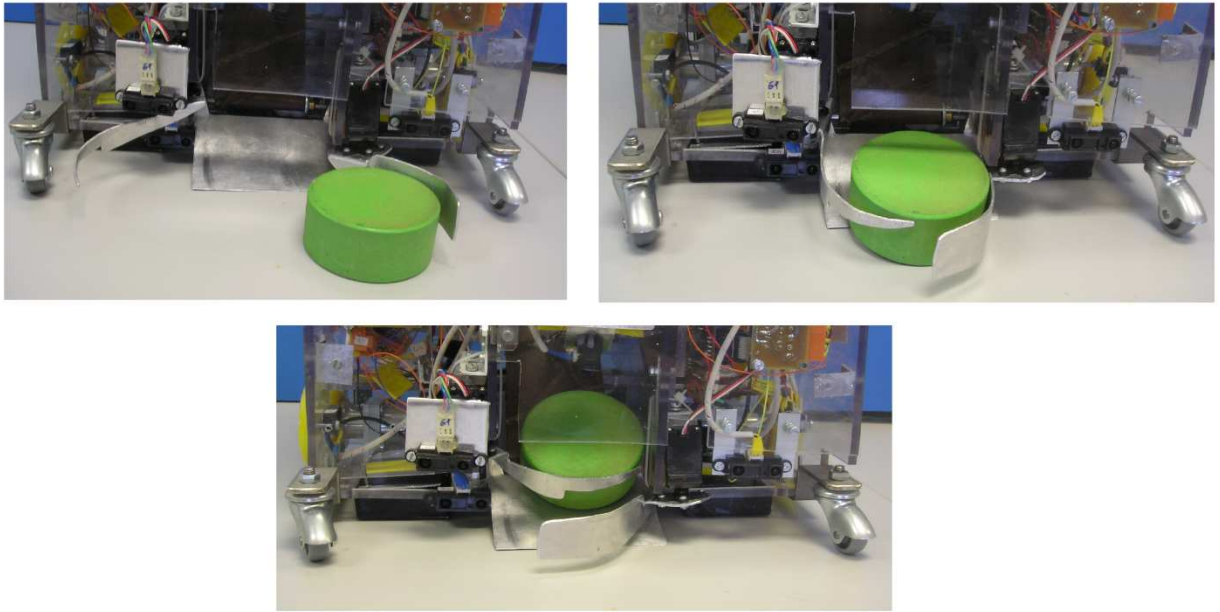


Figura 4.3: Ejemplo de recogida

Era necesario diseñar las palas para que, cuando se tomaran las piezas de los dispensadores, tuvieran el tamaño necesario para sujetar una pieza pero sin quedar atascadas contra la pared que limita el campo. Se realizaron varios prototipos y se realizaron pruebas sobre el campo.

Para mover ambas palas se utilizaron servo motores modelo s3003 de la marca Futaba. Este tipo de servo motor permite movimientos de 180° en cada sentido controlándolo con una señal PWM. [8]



Figura 4.4: Detalle servo S3003 de Futaba

El siguiente elemento importante es la rampa. Esta permite que las piezas accedan a la cinta transportadora, evitando el espacio existente entre la base y el tablero. Esta pieza se construyó en un único bloque, el cual contenía los soportes para el eje libre de la cinta transportadora y la rampa. Para ello se utilizó una lámina de aluminio, ya que es un material flexible y puede manipularse fácilmente.

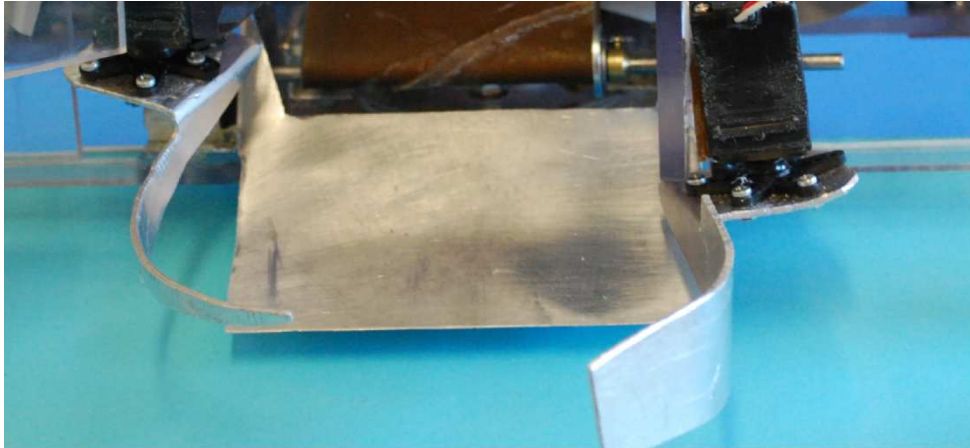
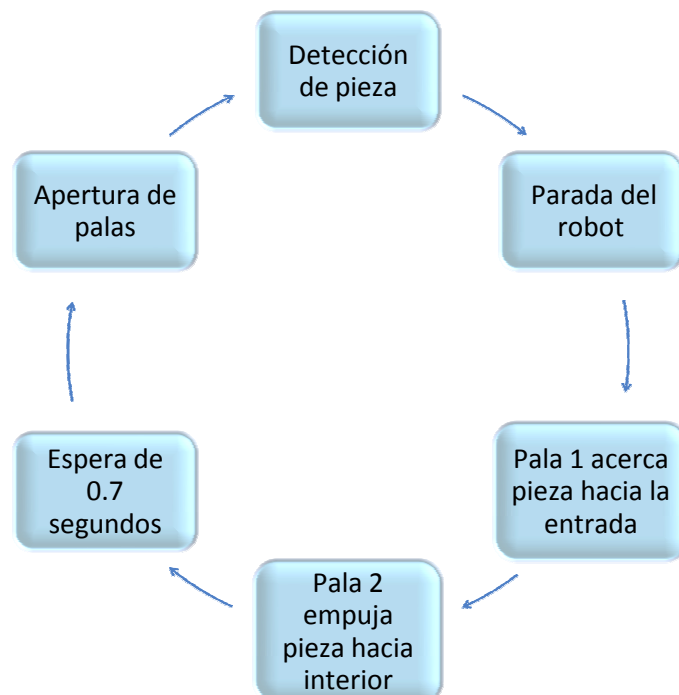
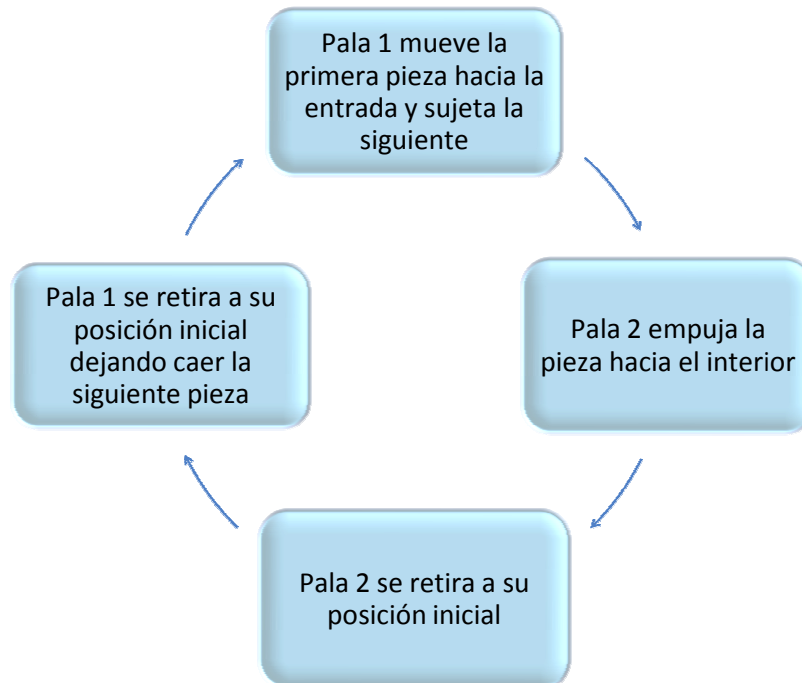


Figura 4.5: Detalle rampa

La secuencia a seguir para tomar las piezas del campo debe repetirse 4 veces, y es la siguiente:



La secuencia a seguir para tomar las piezas de los dispensadores debe repetirse también 4 veces, y es la siguiente:



4.3 Sistema de construcción interior

Una vez se han introducido las piezas en el interior, el siguiente paso a seguir es obtener dos columnas a la altura necesaria para edificarlas. De eso se encarga el sistema de construcción interior, el cual se divide en dos partes bien diferenciadas: sistema de elevación y zona de construcción.

- *Sistema de elevación:*

En primer lugar hay que elevar los elementos de columna a una altura de 13 cm, pues es la altura mínima necesaria para poder construir columnas de dos piezas, y que a su vez estas queden a una altura superior que la zona central de edificación (nivel 3).

Se optó por una cinta transportadora para llevar a cabo esta tarea. Dado que para construir una columna de dos piezas hace falta un espacio mínimo de 6 cm, y la zona de edificación más alta tiene una altura de 6 cm, la cinta debería tener una altura mínima de 12 cm. Se dejaron 50 mm de espacio entre el límite de la cinta y la pieza más alta y otros 50 mm entre la pieza más baja y la zona de edificación, con lo que la altura final de la cinta transportadora es de 13 cm.

La cinta transportadora consta de un eje libre en su parte inferior y un eje movido por un motor DC Reductor de 12V a 200rpm en su parte superior. Para la construcción de la cinta transportadora se utilizaron láminas de caucho con unas dimensiones de 16,5 cm de largo y 7,5 cm de anchura, con esas mismas láminas se realizaron las estrías como se puede observar en la figura 4.6.

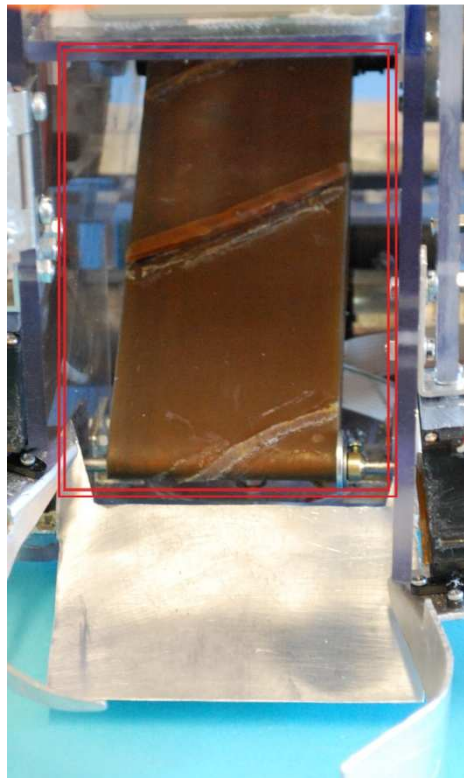


Figura 4.6: Detalle cinta transportadora

- *Zona de construcción:*

En la zona de construcción, como su nombre indica, se construirán las columnas a partir de las piezas recogidas. Como se describió en el apartado 3.3 “Solución”, está formada por una bandeja retráctil y dos palas articuladas.

Una vez las se elevaban las piezas mediante la cinta transportadora, estas se dejaban caer sobre la bandeja retráctil. Una vez ahí, las palas articuladas realizarían la secuencia necesaria para la construcción.

Estas palas se realizaron mediante láminas de aluminio, pues es un material que nos permitía obtener formas complejas fácilmente. Cada una de las palas se encargaría de mover un nivel de las columnas, es decir, la pala inferior [1] colocará las piezas inferiores, y la superior [2] las superiores. Para articular las palas se utilizaron servo motores del mismo modelo indicado anteriormente.

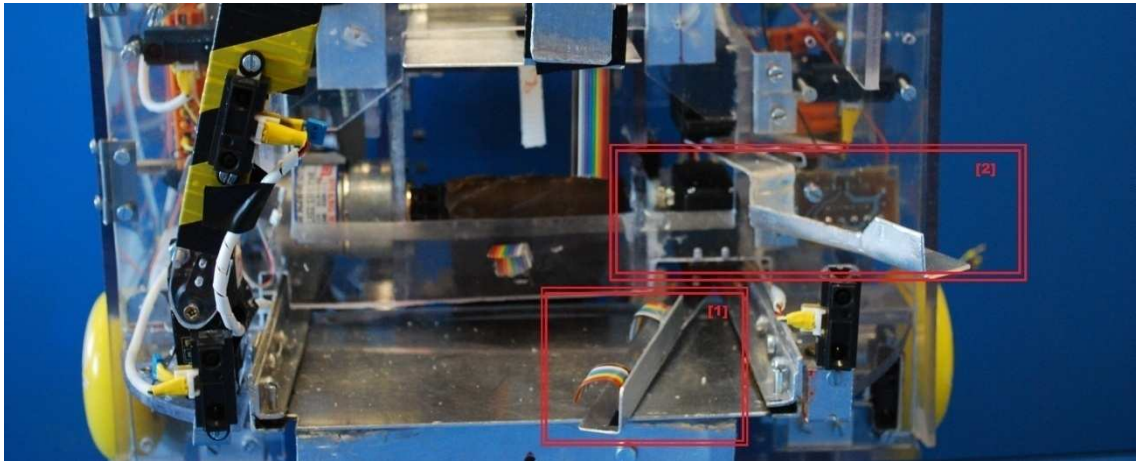


Figura 4.7: Sistema de construcción

El sistema de construcción también dispone del mecanismo necesario para colocar el dintel precargado sobre las dos columnas construidas. Este mecanismo se activará una vez se han depositado las columnas sobre la zona de edificación, esto es por seguridad, ya que es posible que si se libera el dintel durante el movimiento del robot se caiga sobre el campo.

El mecanismo de colocación del dintel consta de una bandeja móvil [2], accionada por una polea [1] movida por un servo motor [3], y un anclaje fijo. El anclaje fijo sirve para guiar el dintel una vez sea liberado y para evitar que se caiga durante el movimiento del robot. Por su parte, la polea se encarga de liberar el dintel cuando mueve la bandeja hacia el interior del robot.

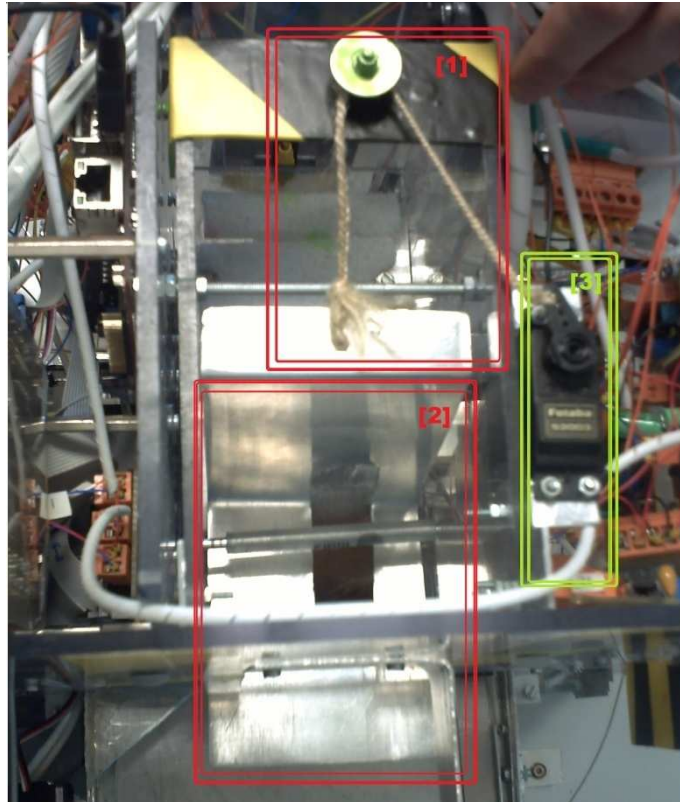
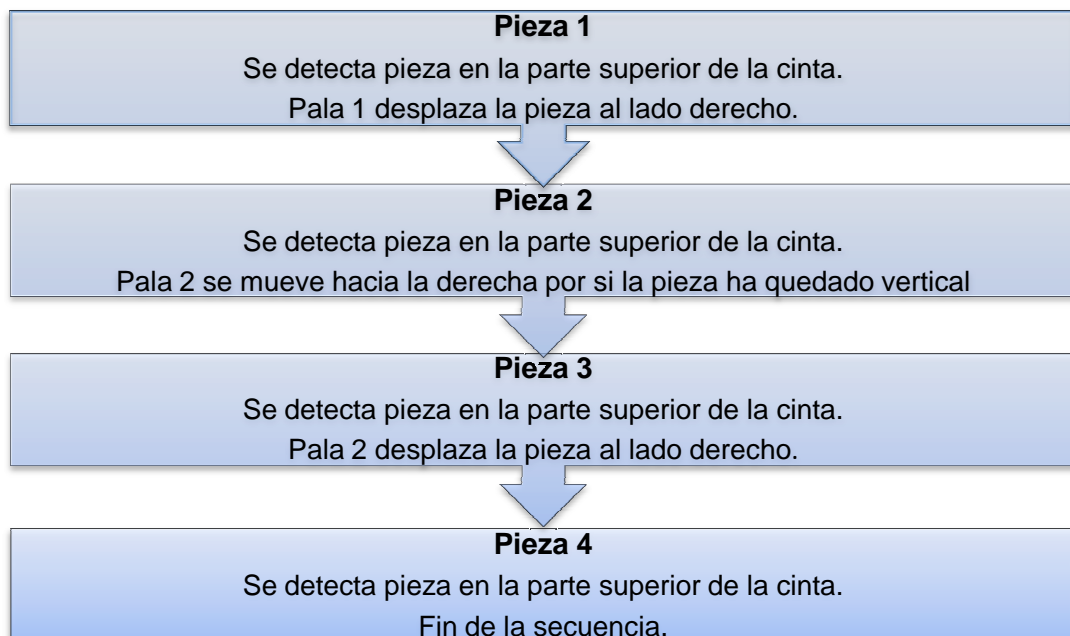


Figura 4.8: Mecanismo colocación de dintel

La secuencia necesaria para llevar a cabo la construcción de las 2 columnas es la siguiente:



Una vez se ha terminado la secuencia de construcción se iniciará la secuencia de búsqueda de la zona de edificación central. Una vez se han colocado las piezas, se procede a la liberación del dintel.

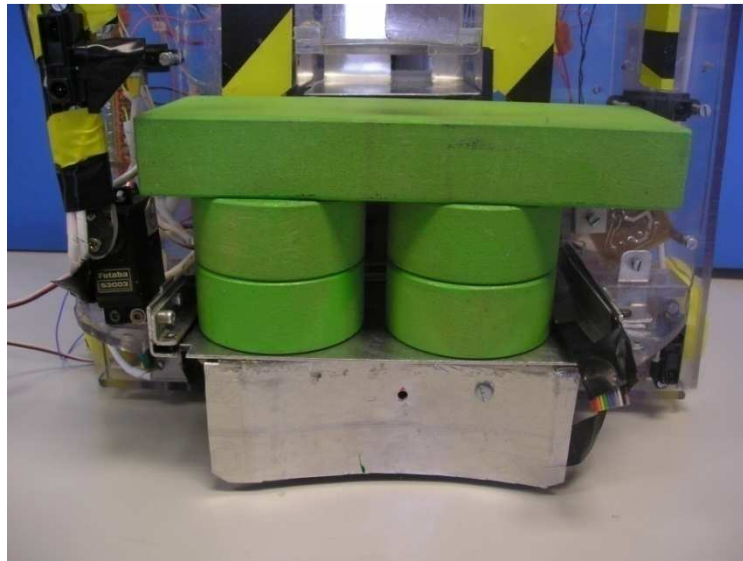


Figura 4.9: Muestra templo completo

Durante la competición se detectó que en ocasiones había problemas para colocar las piezas superiores (piezas 3 y 4). Estos errores llegaban a provocar que la construcción entera quedara mal colocada en la zona de edificación, con lo que se perdía toda la puntuación, y con ella el partido. Por ello, se decidió reducir el tamaño del templo a columnas de dos piezas y el dintel, y así asegurar el mayor número posible de partidos.

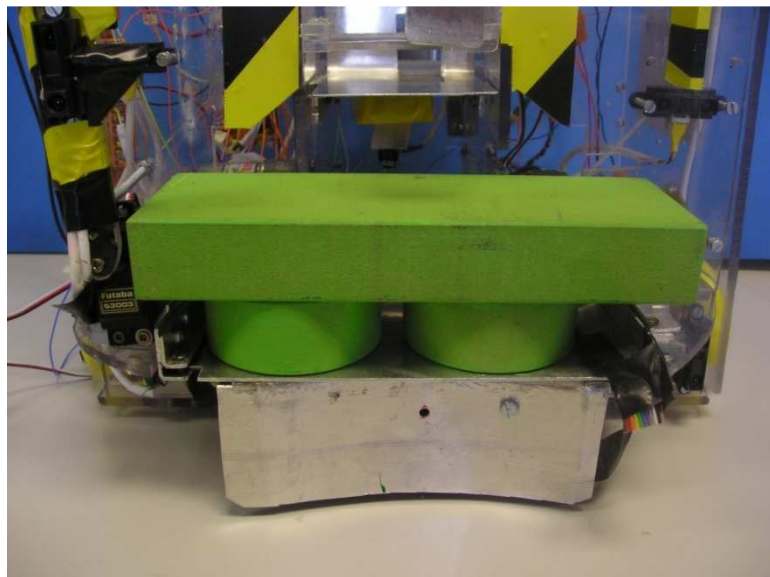


Figura 4.10: Muestra templo de una altura

4.4 Sistema de edificación

El sistema de edificación se encargará de colocar las construcciones realizadas en el interior del robot sobre las zonas de edificación del campo de juego. Este ingenioso sistema se basa en una bandeja retráctil, la cual se moverá hacia el interior del microrobot cuando este haga contacto con las zonas de edificación. De esta manera, se consiguen depositar las construcciones realizadas sobre la citada bandeja. Tras esto, el robot procederá a retirarse de la zona de edificación, con lo que la bandeja regresará a su posición inicial.

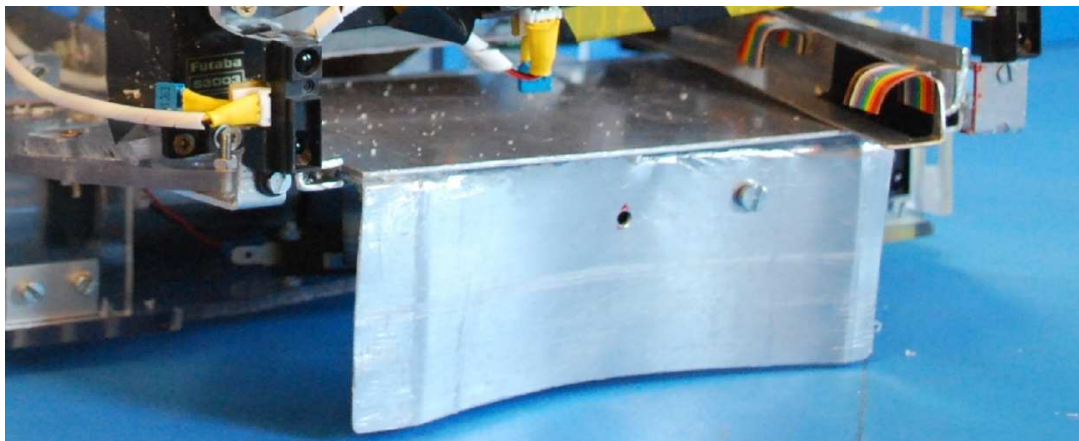


Figura 4.11: Detalle bandeja retráctil

Mediante este método se consiguen realizar las edificaciones en un tiempo muy corto y sin necesidad de sistemas complejos. La bandeja está realizada mediante láminas de aluminio, tiene una forma rectangular con unas dimensiones de 18 cm largo y 9 cm de ancho y consta en su parte inferior de un accionador curvado que encaja en la zona central de edificación (nivel 3) con 5,5 cm de altura. Este accionador sirve para mover la bandeja por contacto físico con las zonas de construcción y para pulsar un sensor de accionamiento por contacto, colocado para conocer cuando el robot está bien situado.

Para que la bandeja regrese a su posición inicial se utiliza un fleje con unas dimensiones de 11 cm de largo y 2 cm de ancho (Ver figura 4.12). Esta lámina se encuentra fijada al accionador por su parte trasera por un tornillo.

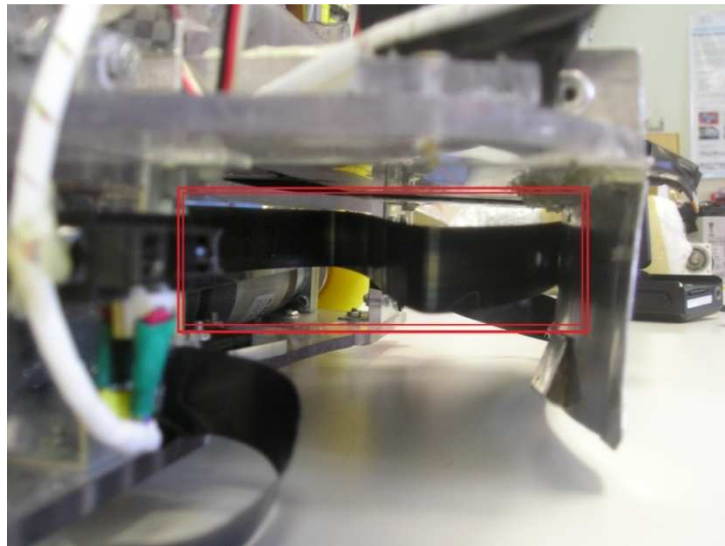


Figura 4.12: Fleje encargado de mover la bandeja

CAPÍTULO 5:

MÓDULO 2: BLOQUE PRINCIPAL

Este capítulo se centra en lo que se puede considerar el bloque principal de cualquier microrobot, es decir, los sistemas mínimos necesarios que constituyen un robot. En este bloque se pueden incluir el sistema de alimentación y el sistema de control.

5.1 Sistema de alimentación

Cualquier equipo autónomo necesita poseer su propio sistema de alimentación, mediante el que suministrar energía a todos sus sistemas internos. El sistema de alimentación se divide en dos partes: fuente de energía y electrónica de potencia. Dentro de este último apartado se hará especial hincapié en las placas de drivers, encargadas de gestionar el movimiento de los motores.

5.1.1 Fuente de energía

Todo robot móvil necesita una fuente de energía que sea capaz de alimentar sus diferentes sistemas simultáneamente. Esta fuente de energía debe almacenar energía suficiente como para permitir que el robot realice sus tareas durante un tiempo razonable. Y las baterías son el método más utilizado en robots autónomos como sistema de almacenamiento de energía.

Las baterías son dispositivos que obtienen energía eléctrica mediante un proceso electroquímico. Dependiendo de los elementos que intervienen en este proceso químico, podemos diferenciar varios tipos de baterías, cada una con sus cualidades propias. [11];[19]

Las más comunes son:

- **Pilas tipo de cinc/carbono (Zn/C), o “Pilas secas”:** Basadas en la oxidación del cinc en medio ligeramente ácido, están compuestas por cinc metálico, cloruro de amonio y dióxido de manganeso. Son utilizadas en aparatos sencillos y de poco consumo.
- **Pilas alcalinas o de cinc/dióxido de manganeso (Zn/MnO₂):** La diferencia con la pila seca es el electrolito utilizado, en este caso, hidróxido de potasio, en vez de cloruro de amonio, y el cinc está en polvo. Son las de larga duración y tienen una mayor densidad de energía que las de carbono.
- **Pilas y baterías de níquel/cadmio (Ni/Cd):** Están basadas en un sistema formado por hidróxido de níquel, hidróxido de potasio y cadmio metálico. Poseen ciclos de vida múltiples, presentando la desventaja de su relativamente baja tensión, menor que las alcalinas. Las baterías Ni-Cd con el uso dejan de ser eficaces, por que guardan un efecto llamado “memoria”, para evitar este defecto es aconsejable antes de recargar la batería dejar que este descargada al máximo.
- **Baterías plomo/ácido:** Sus elementos constitutivos son pilas individualmente formadas por un ánodo de plomo, un cátodo de óxido de plomo y ácido sulfúrico como medio electrolítico. Son las más utilizadas por su bajo coste. Pueden ser encontradas en una gran variedad de tamaños rectangulares. Su mayor inconveniente es la aparición de fugas de ácido si la batería no mantiene su posición vertical. Para eliminar este problema aparecieron las baterías de plomo/gel, aunque estas si padecen de efecto memoria.
- **Pilas y baterías de níquel/hidruro metálico (Ni/MH):** El cátodo es óxido de níquel y el electrolito hidróxido de potasio. La densidad de energía producida por las pilas Ni/MH es el doble de la producida por las Ni/Cd, a voltajes operativos similares. Otras ventajas sobre las Ni/Cd es que no tienen el efecto “memoria” y no poseen Cd, con lo que no son tan peligrosas para el medio ambiente.
- **Pilas y baterías de Ion-litio:** Presentan la mayor densidad de energía de todas las baterías recargables y no presentan efecto memoria. Producen tres veces más energía que los modelos alcalinos, considerando tamaños equivalentes. En contra tiene su elevado precio.

Las propiedades que caracterizan a cada tipo de batería, y deben tenerse en cuenta a la hora de elegir un modelo, son las siguientes:

- **Recargabilidad:** Es la característica principal que diferencia una pila de una batería.
- **Densidad de energía:** Es la máxima cantidad de energía por unidad de masa que un tipo de batería puede almacenar. Su unidad son los Watios-hora/Kilogramo [Whr/Kg].
- **Capacidad:** Es la energía almacenada en cada célula de la batería. Se mide en amperios-hora [Ah] o miliamperios-hora [mAh].
- **Voltaje:** El voltaje producido por cada célula es una característica particular del tipo de reacción química producida en la batería. Este voltaje también depende del estado de la carga de las células.
- **Resistencia interna:** Cuando se produce un cortocircuito, la corriente suministrada por la batería es limitada por su resistencia interna. De este modo, como se descarga un tipo de batería depende de su resistencia interna.
- **Duración:** Las baterías pierden carga cuando no se les aplica una carga externa. La duración es una medida de lo rápido que ocurre esta descarga.
- **Dependencia de la temperatura:** Muchas de las propiedades de una batería dependen de la temperatura ambiente, como son la capacidad y la duración.

Para elegir qué tipo de batería utilizar se deberán tener en cuenta las necesidades de consumo, tamaño y peso del microrobot. En cuanto al consumo, se necesita una batería capaz de entregar 12 V y de tener una buena duración, ya que la normativa indica que estas deben de permitir jugar dos partidos consecutivos. La demanda de corriente de todos los sistemas actuando conjuntamente era de 1.5 A, con picos de hasta 5.4 A en los momentos de aceleración de los motores.

El tamaño no era un problema importante debido a que se disponía de espacio suficiente en el interior del robot. Pero si se buscaba un modelo con una forma rectangular para facilitar su colocación. El peso tampoco era un inconveniente, ya que se necesitaba un peso mayor de 1 Kg en la parte delantera del robot, de modo que la batería podía servir de contrapeso.

Teniendo en cuenta estas necesidades, se eligió una batería de plomo/ácido, en especial una de plomo/gel. Esta elección se debe a que las baterías de plomo/ácido cumplen las necesidades de voltaje, larga duración y gran gama de capacidades. Además, se pueden encontrar en multitud de tamaños y formas rectangulares y son las que presentan la mejor relación calidad/precio.

Su mayor inconveniente es su elevado peso, que en nuestro caso no se trata de un problema, si no de una ventaja.

Se optó por una batería modelo NPH5-12 5Ah de Yuasa. Se trata de un modelo de batería estacionaria con un voltaje nominal de 12 V y una capacidad de 5Ah, con lo que cubrimos con creces la demanda de los sistemas del robot. Nos ofrece una larga duración y una baja auto descarga, de manera que no tendríamos problemas para participar en dos partidos consecutivos. Se trata de un modelo de la serie H de Yuasa, serie que posee una alta capacidad en descarga rápida, ideal para los picos demandados por los motores en los momentos de arranque y movimientos rápidos. [12]

La forma de este modelo se adapta a las condiciones deseadas y su peso es ideal para el reparto de pesos diseñado (ver apartado 4.1 “Estructura”).



Figura 5.1: Baterías modelo NPH5-12 5Ah de Yuasa

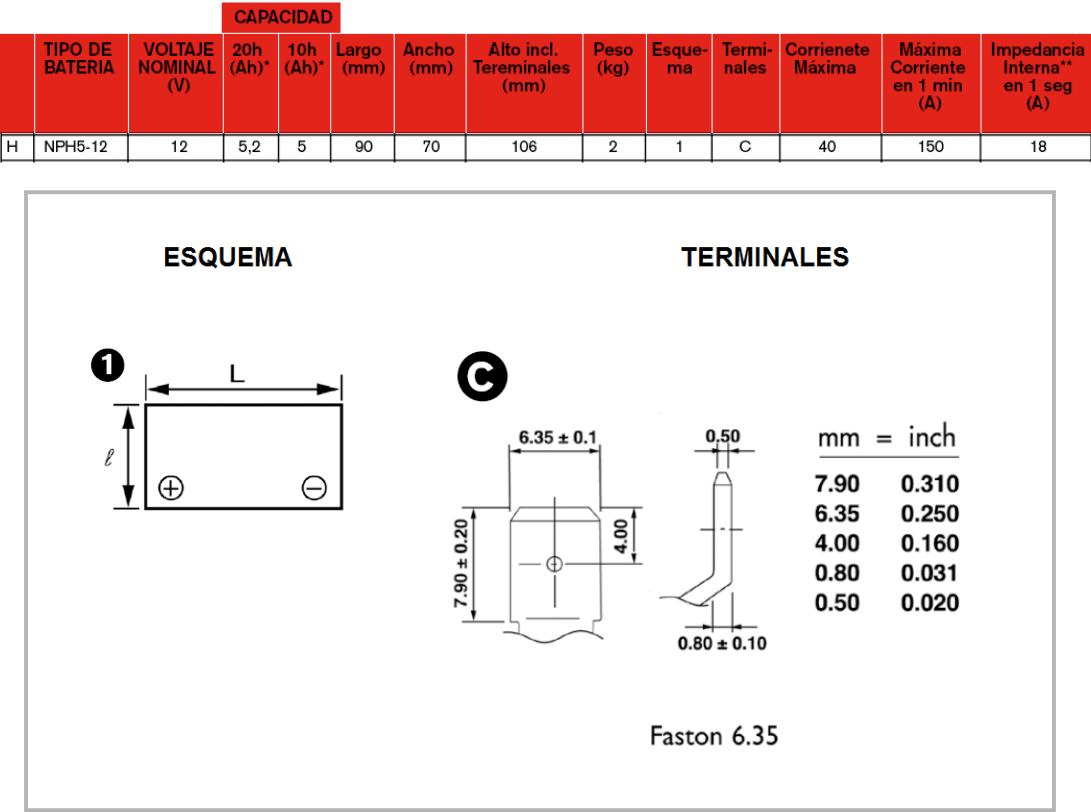


Figura 5.2: Características de baterías modelo NPH5-12 5Ah de Yuasa

La normativa indica que se deben poseer dos baterías para poder realizar recambios en caso de necesidad. Para facilitar el conexionado de las baterías con las pacas de potencia y la placa base se añadieron conectores molex. Con lo que se aseguraba una buena conexión y se facilitaba el proceso de recambio de las baterías.

5.1.2 Electrónica de potencia

La etapa electrónica de potencia es la encargada de adaptar la tensión entregada por la batería a los niveles que necesitan los diferentes sistemas del robot para un correcto funcionamiento. Estos niveles de tensión requeridos son de 5V y 7V, y para conseguirlos se diseñaron dos placas basadas en el regulador LM2599S. Mediante el uso de este elemento y siguiendo las indicaciones del fabricante, se adaptaban los 12V entregados por la batería a los niveles requeridos.

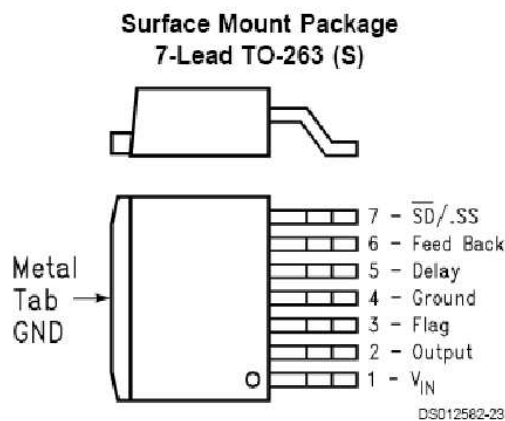
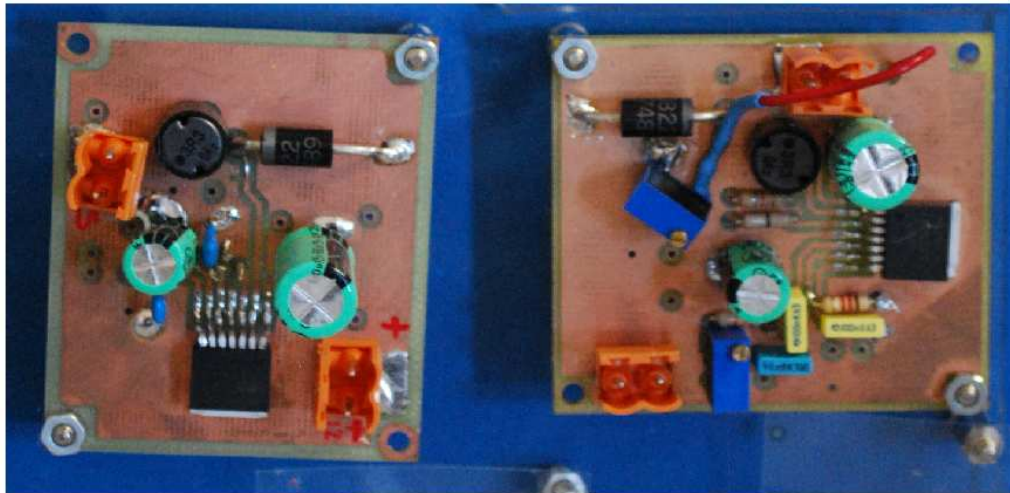


Figura 5.3: Detalle placas de potencia y convertidor LM2599S

5.1.3 Placa de drivers

Dentro de la electrónica del microrobot debemos destacar las placas de drivers. Son un elemento indispensable para permitir el movimiento del robot, debido a que son las encargadas de suministrar energía a los motores y de traducir las señales de control generadas por el microcontrolador. Siendo así, el nexo entre los motores y los sistemas de alimentación y control.

El elemento principal de estas placas son los drivers. Se trata de dispositivos ideados para aplicaciones de control de movimiento, que permiten controlar tanto la velocidad como el sentido de giro de los motores. Para decidir que driver seleccionar hay que tener en cuenta las propiedades de los motores utilizados.

Como se explicará en el siguiente capítulo, los motores utilizados son de la marca Bernio y trabajan a un voltaje nominal de 12 voltios, con unos consumos de corriente nominal en torno de 1,2 amperios y unas corrientes de pico de hasta 5,4 amperios. Teniendo en cuenta estos valores se eligió el driver LMD18200T, el cual puede operar en un rango de tensiones nominales entre 12 y 55 voltios, dentro del rango utilizado en el resto de la electrónica del robot. Por otra parte, es un modelo capaz de soportar corrientes de hasta 6 amperios y corrientes nominales de hasta 3 amperios, lo que lo hace ideal para esta aplicación.

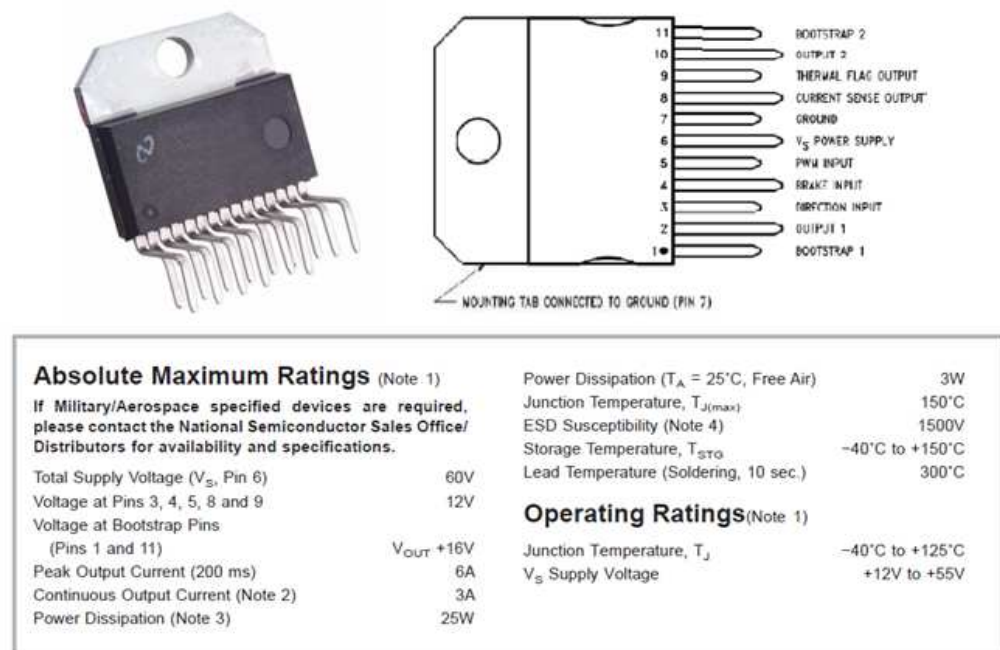


Figura 5.4: Driver LMD18200T y características

Este driver posee una configuración en puente H que nos permite un sencillo control mediante tres señales de entrada. Estas señales serán generadas por la electrónica de control y consisten en la señal de dirección ("DIRECTION"), la señal de freno ("BRAKE") y la señal de velocidad ("PWM"). Esta última consiste en una señal PWM, en la que la velocidad a la que se moverá el motor es proporcional a su ciclo de trabajo.

La señal de salida de este driver consiste en una señal diferencial, obtenida por las señales OUTPUT 1 y OUTPUT 2. Esta pareja de señales serán entregadas a los motores para que realicen el movimiento deseado.

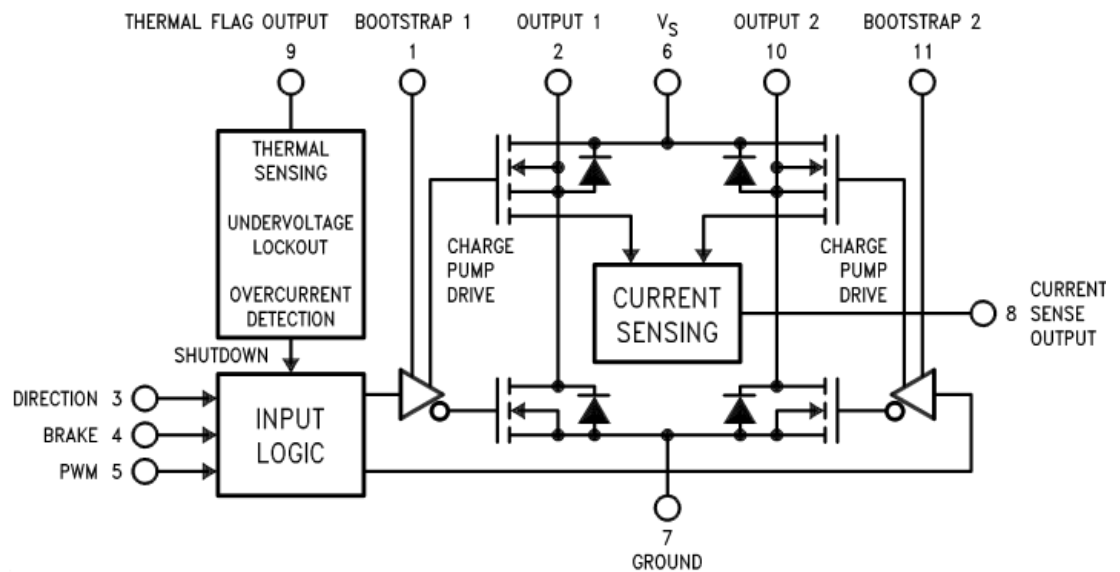


Figura 5.5: Circuito interno del driver LMD18200T

EL modelo de motor utilizado posee un encoder óptico integrado, el cual entrega información sobre el movimiento realizado por los motores. Así, la placa de drivers también se encarga de transmitir esta información al sistema de control y de suministrar tensión a estos encoders, ya que necesitan una tensión diferente que la suministrada a los motores, como se indica en el apartado 5.1.2 “Electrónica de potencia”.

Dado que los motores son independientes, es necesario controlarlos por separado. Así, la placa de driver se diseñó con el circuito de control y alimentación duplicado, de manera que se minimiza el número de placas necesario. Para el conexionado se utilizaron conectores IDC, lo que facilita el uso de esta tarjeta y evita conexiones erróneas.

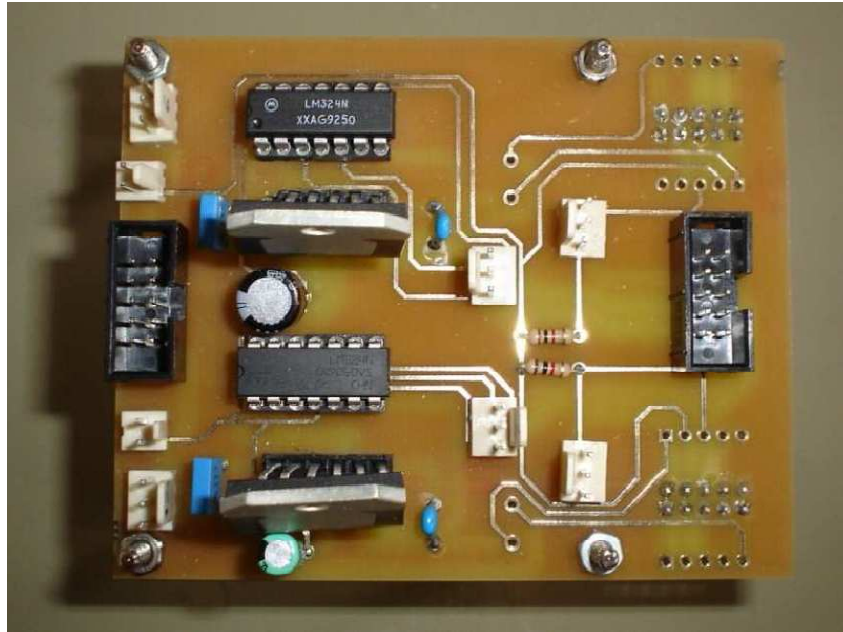


Figura 5.6: Placa drivers

El circuito inicialmente fue diseñado para poder utilizar las tres entradas del driver, pero tras varias pruebas se observó que la entrada de freno no funcionaba correctamente. Debido a ruido o a pequeñas fluctuaciones en la señal entregada por el microcontrolador, se activaba el freno por error, lo que impedía el movimiento correcto de los motores. Por ello se decidió poner la entrada de freno directamente a masa.

Esto tampoco supuso ningún problema, ya que se probó que para detener el robot era más eficiente parar directamente los motores que utilizar los frenos.

5.2 Sistema de control

El sistema de control es el encargado de la ejecución de programas para la toma de decisiones y el control de los sistemas que componen el robot. En este caso se dividió el sistema de control en dos niveles: nivel alto, formado por una placa base que ejecuta el programa principal y toma las decisiones, y nivel bajo, formado por un microcontrolador tipo 8052 que sirve de intermediario entre la placa base y los accionadores (motores y servos).

La placa base seleccionada para esta tarea fue el modelo TS-7350 de Technologic Systems. Esta se basa en el microprocesador Cirrus EP9302 200MHz ARM9, y posee 64MB de memoria RAM, puertos ethernet, USB 2.0 y serie, lector de tarjetas SD y entradas y salidas tanto digitales como analógicas. La ejecución de los programa se realiza sobre sistema operativo Linux.

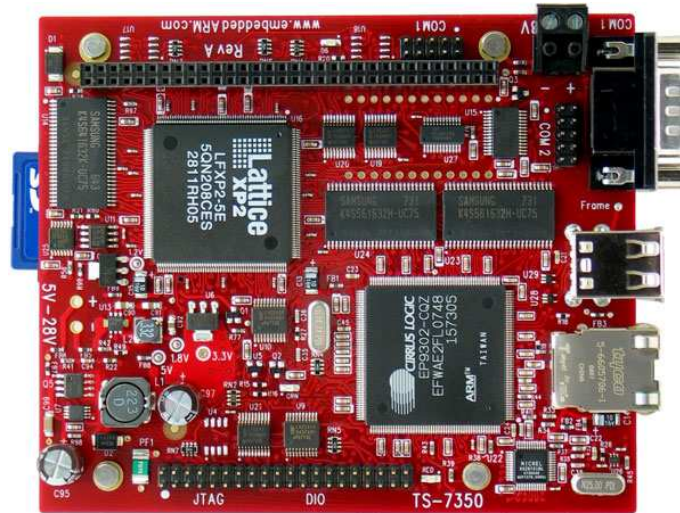


Figura 5.7: Placa base modelo TS-7350

Por su parte, el nivel bajo se compone de una paca basada en un microcontrolador 8052 con las entradas y salidas necesarias para su comunicación con la placa base (puerto serie), con los motores (conectores IDC) y con los servos (molex). Para que la conexión entre las distintas placas de potencia y de control se diseñó una “placa intermedia”, que funcionaba de lazo de unión entre estas, facilitando así el conexionado y reduciendo el número de cables necesarios.

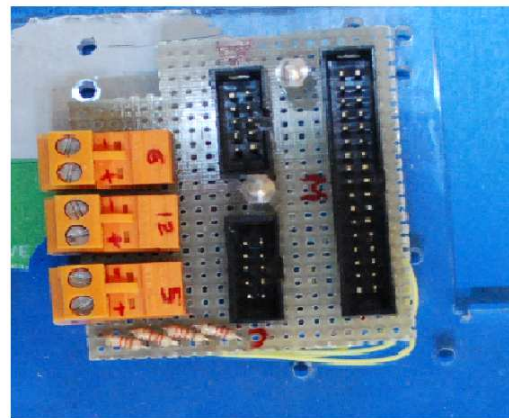
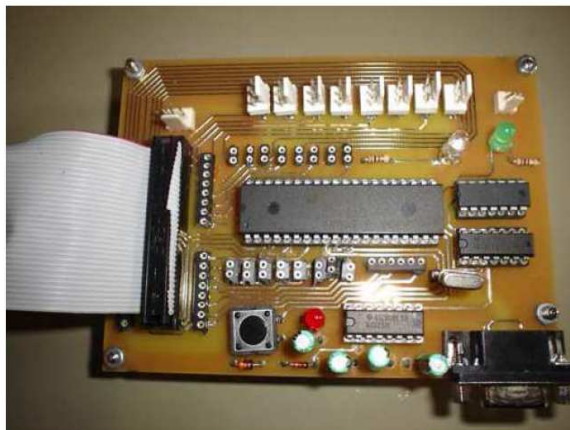


Figura 5.8: Detalle placa de microcontrolador 8052 (izquierda) y placa intermedia (derecha)

CAPÍTULO 6:

MÓDULO 3: LOCOMOCIÓN

En este capítulo se detallarán las soluciones tomadas para desarrollar un sistema locomotor para el microrobot que se ajuste a las necesidades del problema. Sistema que permitirá al robot moverse dentro del campo de juego, siguiendo estrategias y esquivando obstáculos. Vamos a dividir la descripción del sistema de locomoción en tres apartados:

- Configuración
- Tracción
- Reparto de pesos

Las decisiones tomadas en cada uno de estos apartados determinarán el funcionamiento del sistema, variando desde el método de giro hasta la configuración interna del robot.

6.1 Configuración

La primera decisión a tomar a la hora de desarrollar el sistema locomotor del robot es elegir una configuración motriz que se adapte a las necesidades que plantea el problema de este año. Esta configuración debe permitir que el robot se desplace de modo adecuado por el terreno de juego y le otorgue la capacidad de orientarse eficazmente para la búsqueda de las piezas y las zonas de construcción.

Dentro de los métodos descritos en el Capítulo 2, se decidió implantar un sistema de tracción por ruedas. Ya que es el más sencillo de instalar de controlar, además de que nos permite ajustar el reparto de pesos fácilmente. La siguiente elección dentro de los sistemas de tracción basados en ruedas es la configuración de la dirección.

Como también se pudo ver en Capítulo 2, existen cuatro tipos principales de configuraciones para la dirección:

- **Tracción diferencial:** Es la configuración más sencilla. Consta de dos ruedas motrices montadas en un eje común movidas por motores independientes, y ninguna rueda directriz. Para realizar los giros solo hay que hacer que las ruedas giren a diferentes velocidades, lo que facilita mucho el control. Además de que este método nos da la posibilidad de que el robot gire sobre si mismo.
- **Triciclo:** Esta configuración apoya el robot sobre tres ruedas, de las cuales una es directriz. Es un método sencillo y fácil de controlar, pero que se hace inestable si el reparto de pesos no es adecuado y los ángulos de giro que nos permite son demasiado grandes para orientarse eficazmente en el terreno de juego.
- **Dirección Ackerman:** Para este sistema se necesitan dos ruedas motrices en la parte trasera y dos ruedas directrices en la delantera. Su principal característica consiste en que al realizar los giros, la rueda interior gira un ángulo mayor que la exterior, lo que permite realizar giros a mayores velocidades sin que se produzca el deslizamiento de las ruedas. El mayor inconveniente es que los ángulos de giro que nos permite son demasiado amplios para nuestras necesidades.
- **Locomoción síncrona:** La locomoción síncrona es un método en el que todas las ruedas son motrices y directrices, ya sean tres o cuatro. Todas las ruedas se orientan en la misma dirección y giran a la misma velocidad. Lo que la convierte en un sistema demasiado complejo a la hora de implementarlo y de controlarlo. Además las velocidades que nos permite este método son inferiores que las de los demás.

Se optó por la tracción diferencial, ya que permitía un control sencillo y realizar giros en torno al eje vertical del robot, con lo que el robot podría orientarse rápidamente en un espacio reducido. Además, esta configuración da la oportunidad de realizar un reparto de pesos sencillo. Para implantar este tipo de tracción se colocaron los motores en la parte delantera del robot, ya que era el lugar donde existía mayor espacio libre disponible. Para estabilizar la estructura se colocó una rueda loca de tipo bola en el centro de la base, con lo que se conseguía mantener el equilibrio. Tras realizar varias pruebas se instalaron dos ruedas locas más, estas de tipo castor, en los vértices posteriores del robot, ya que en los movimientos rápidos el robot se balanceaba.

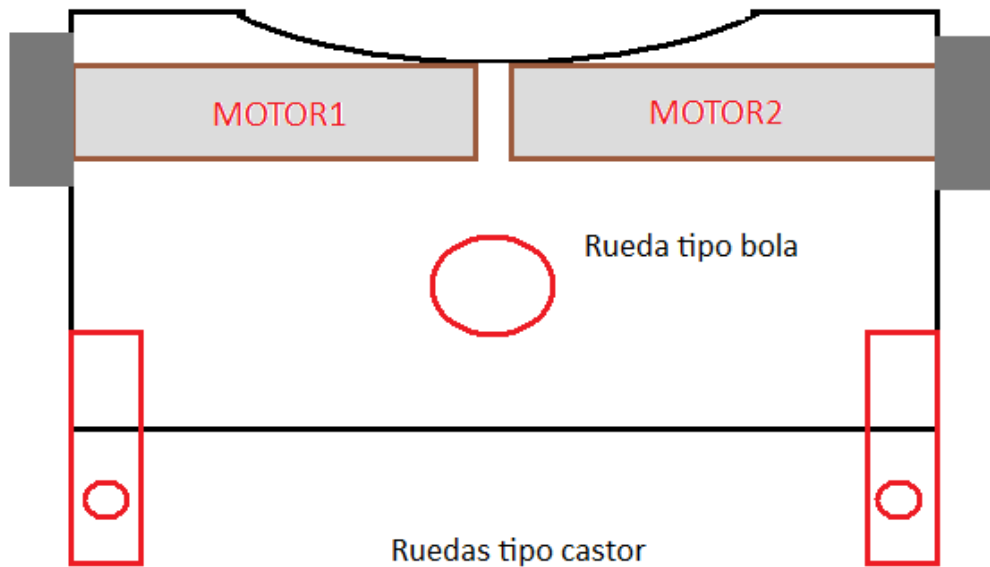


Figura 6.1: Esquema de distribución de motores y ruedas

6.2 Tracción

6.2.1 Motores

Para mover el robot se necesitaban dos motores que fueran capaces de aportar un par y una velocidad adecuados teniendo en cuenta el peso del robot. Este peso viene dado principalmente por la batería (2 Kg) y el peso de una construcción entera (0.7 Kg). Los motores que disponen de un gran par tienen el inconveniente de que poseen un alto consumo de energía, por lo que se buscaron motores con una reductora acoplada. Esto hace que aumente el par del motor reduciendo la velocidad de giro, con lo que se consiguen unos consumos de energía menores. De este modo, los motores seleccionados fueron unos motores de corriente continua de la marca Bernio modelo MR 615 30Q.

Estos motores disponen de una reductora 1/16, con lo que obtenemos un par y una velocidad adecuados a nuestras necesidades con un consumo de energía aceptable. Este modelo también cuenta con un encoder, con lo que tenemos todas las características que necesitamos en un solo producto. De las propiedades del encoder se hablará en el Capítulo 7, dedicado al sistema sensorial. [9]

La velocidad de este tipo de motores viene dada directamente por el nivel de tensión aplicado en sus terminales, con lo que cuanto mayor sea el voltaje aplicado mayor será la velocidad de giro. Por otro lado, el sentido de giro solamente depende de la polaridad de la tensión aplicada, con lo que el control resulta muy sencillo.



Figura 6.2: Motor Bernio modelo MR 615 30Q

Las características de este modelo de motor son las siguientes:

PROPIEDAD	Uds.	Mín.	Nom.	Max.
Tensión nominal	V	12		24
Corriente en vacío	A		1	
Velocidad en vacío	Rpm	284	315	346
Par nominal (max permanente)	Nm		0.88	
Corriente nominal (max en continuo)	A		1	
Par de arranque	Nm	2.8	3.1	3.4
Corriente de arranque	A		5.4	5.4
Max velocidad permitida sin reducción	Rpm		4600	
Rango temperatura ambiente	°C	-20	25	80
Temperatura máxima	°C		85	

6.2.2 Ruedas

Las ruedas son los elementos encargados de transmitir la tracción de los motores al suelo, haciendo que el robot se mueva, y de permitir el correcto apoyo del robot en el terreno de juego. De este modo podemos diferenciar dos tipos de ruedas (como se explicó en el Capítulo 2): las ruedas motrices, que transmiten el movimiento de los motores, y las ruedas locas o libres, que nos permiten mejorar el apoyo y el reparto de pesos.

En primer lugar, la elección de las ruedas motrices afecta al par y la velocidad que se obtienen de los motores y al agarre. El par y la velocidad se ven afectados por el radio de las ruedas, ya que un radio demasiado grande provoca que la velocidad sea mayor pero reduce mucho el par. En cuanto a la adherencia, dependía del material del que se construye la cubierta de la rueda, con lo que se necesitaba un tipo de rueda que nos asegurara un agarre correcto en superficies lisas o ligeramente rugosas, ya que el terreno de juego estaría pintado con pintura plástica. En otros encuentros de Eurobot se observó que las ruedas diseñadas para el uso en patines aportaban una adherencia muy buena sobre cualquier superficie, y además poseen un radio aceptable para nuestras necesidades.

Se utilizaron unas ruedas modelo “HYPER HOCKEY PRO 250”. Para poder anclar las ruedas al eje del motor se fabricaron sendos casquillos de aluminio, lo cuales, se atornillan a las ruedas con dos tornillos de métrica 3 y al eje del motor con un tornillo de métrica 4. Esto permitía una buena sujeción y una forma sencilla de cambiar las ruedas.



Figura 6.3: Ruedas y casquillo de anclaje

Por su parte, las ruedas locas que se utilizaron fueron de dos tipos: una de tipo bola y dos de tipos castor. La rueda de tipo bola es de tipo comercial, fabricada en aluminio con 30 mm de radio y 20 mm de altura. Se colocó en la parte central de la base y soportaba el mayor peso del robot. Las ruedas de tipo castor se colocaron en los vértices posteriores del robot, con lo que evitábamos que el robot se balancease en los arranques, como se explicará en el apartado siguiente.

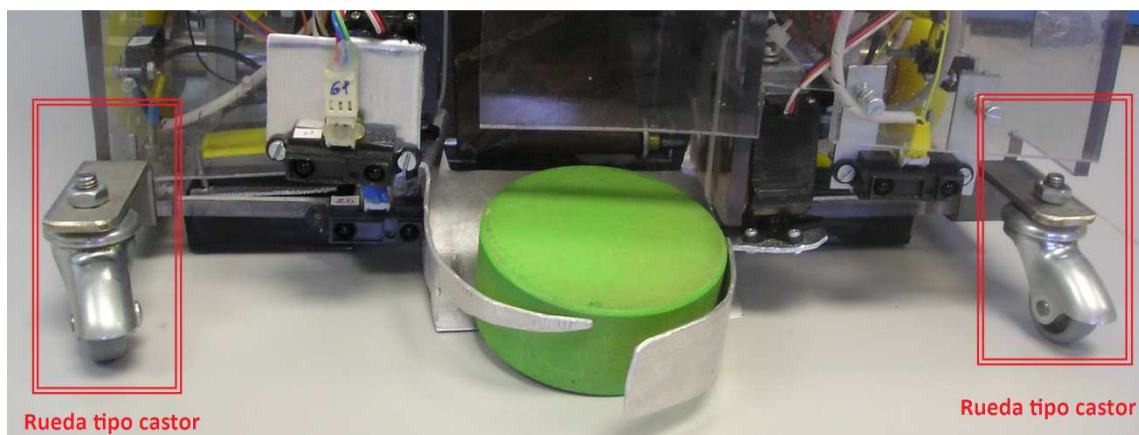


Figura 6.4: Ruedas locas tipo castor



Figura 6.5: Rueda loca tipo bola

6.3 Reparto de pesos

Un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de configurar el sistema locomotor de un robot es el reparto de pesos. Este consiste en la adecuada situación de las ruedas (tanto motrices como locas) y de los elementos internos del robot para que los movimientos deseados.

En este caso, el reparto de pesos viene especialmente condicionado por el sistema de manipulación de piezas (ver Capítulo 4), ya que el espacio interior del robot queda dividido por la cinta transportadora y la bandeja retráctil necesita espacio libre para su correcto movimiento. Es por esto que los motores [1] se situaron en la parte delantera bajo la cinta transportadora. Dado que en su máxima carga existirá un peso de 700 g sobre la bandeja, se decidió colocar la batería en la parte trasera del robot, y con el fin de sustentar correctamente este peso se colocó la rueda de tipo bola [2] debajo de la cinta transportadora lo más cerca posible del lado posterior.

Tras realizar varias pruebas se observó que al realizar los arranques el robot se balanceaba levemente, lo que podía provocar que el robot se orientara incorrectamente. Por ello se instalaron dos ruedas de castor [3] en los vértices del lado posterior del robot. Se colocaron a unos pocos milímetros respecto del suelo para que no ofrecieran resistencia al iniciar los movimientos en el caso de que las ruedas no estuvieran alineadas con el movimiento.

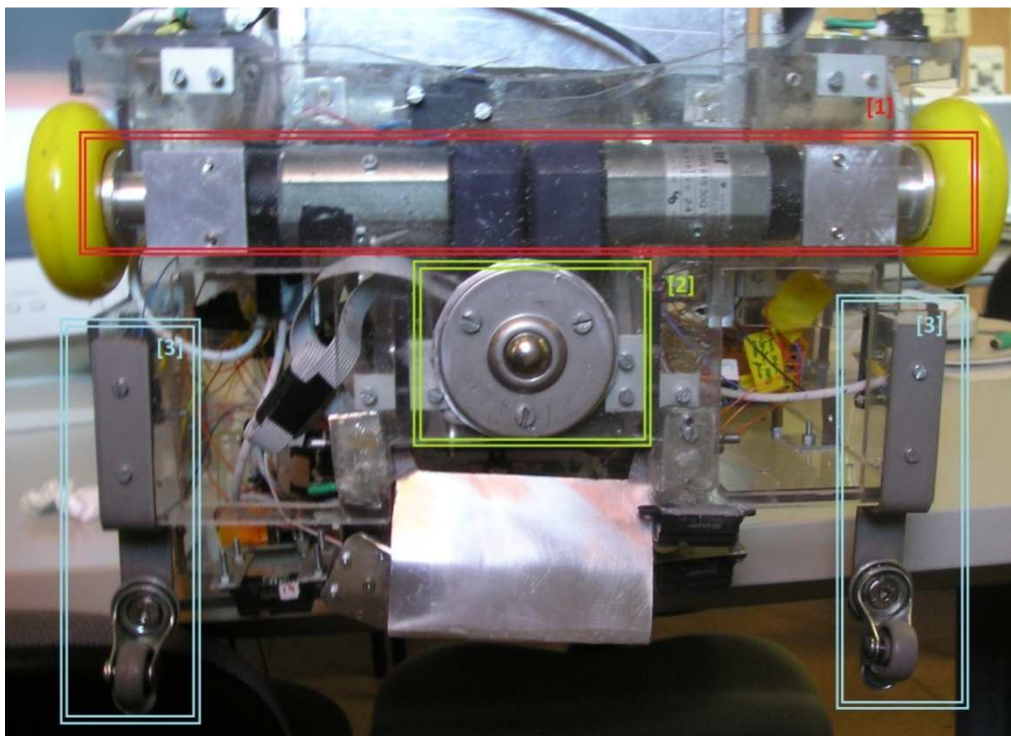


Figura 6.6: Detalle distribución de la base

CAPÍTULO 7:

MÓDULO 3: SISTEMA SENSORIAL Y DE LOCALIZACIÓN

Este capítulo se basa en el diseño y funcionamiento del sistema sensorial que utiliza este microrobot, especialmente en los sistemas utilizados para obtener información sobre su posición en el terreno de juego. De esta manera, el capítulo se dividirá en dos partes: la descripción de los sensores utilizados y su función dentro del sistema de localización.

7.1 Sensores

El robot necesita obtener información tanto del entorno que le rodea como de las posiciones de las diferentes partes de su estructura para poder tomar actuar en función de esos datos. Dada la distinta naturaleza de esta información, es necesario utilizar diferentes tipos de sensores. A continuación se describirán estos dispositivos. [21]

- *Sensor óptico GP2D12 y GP2D120:*

Este tipo de sensores se utilizan para medir distancias y detectar objetos. Los dispositivos infrarrojos están equipados de un pequeño sensor detector de posición lineal (PSD) que determinará la distancia o la presencia de objetos dentro de su campo de visión utilizando para ello un método de triangulación. Su funcionamiento se basa en la emisión de un pulso de luz infrarroja y su posterior recepción al rebotar este contra un objeto, por lo que pertenecen al grupo de sensores “activos”. En el caso de encontrar un obstáculo, el haz de luz infrarroja emitido se reflejará, creando de esta manera un triángulo formado por el emisor, el punto de reflexión y el detector. Para averiguar la distancia entre el sensor y el objeto solo habrá que medir el ángulo recibido, de forma que cuanto menor sea el ángulo mayor será la distancia entre los dos. (Ver Capítulo 2.2)

Los modelos seleccionados pertenecen a la gama GP2Dxx de la marca Sharp, en particular los del tipo GP2D12 y GP2D120. Ambos vienen con una electrónica asociada que les proporciona un buen comportamiento frente a luz intensa y les permite detectar objetos de color negro, y se caracterizan por su simplicidad y robustez.

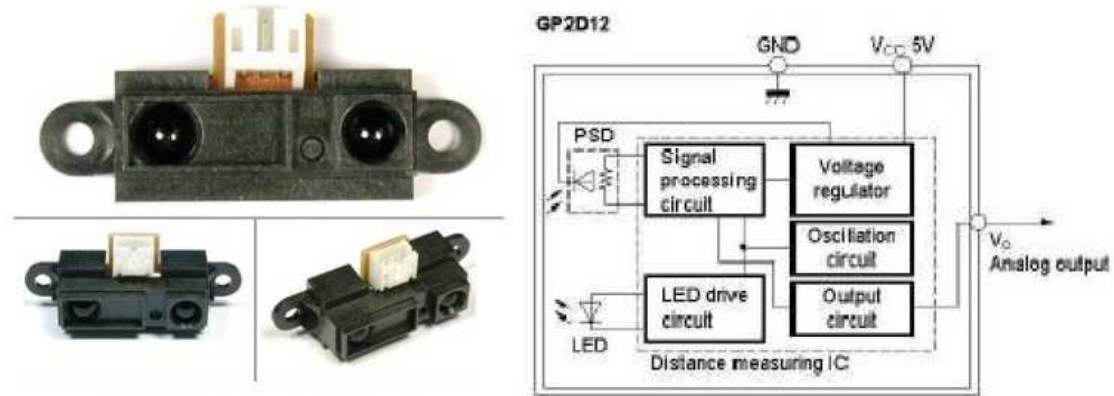


Figura 7.1: GP2Dxx y circuito interno

El modelo GP2D12 permite la detección de objetos en un rango de distancias desde 10 cm hasta 80 cm, y el modelo GP2D120 posee un rango de medida desde 4 cm hasta 30 cm. Ambos devuelven un valor de tensión en función de la distancia en la que se encuentra el objeto detectado, teniendo en cuenta que si la detección se realiza fuera de los umbrales marcados por el fabricante, las medidas serán erróneas, provocando una mala estimación de la distancia.

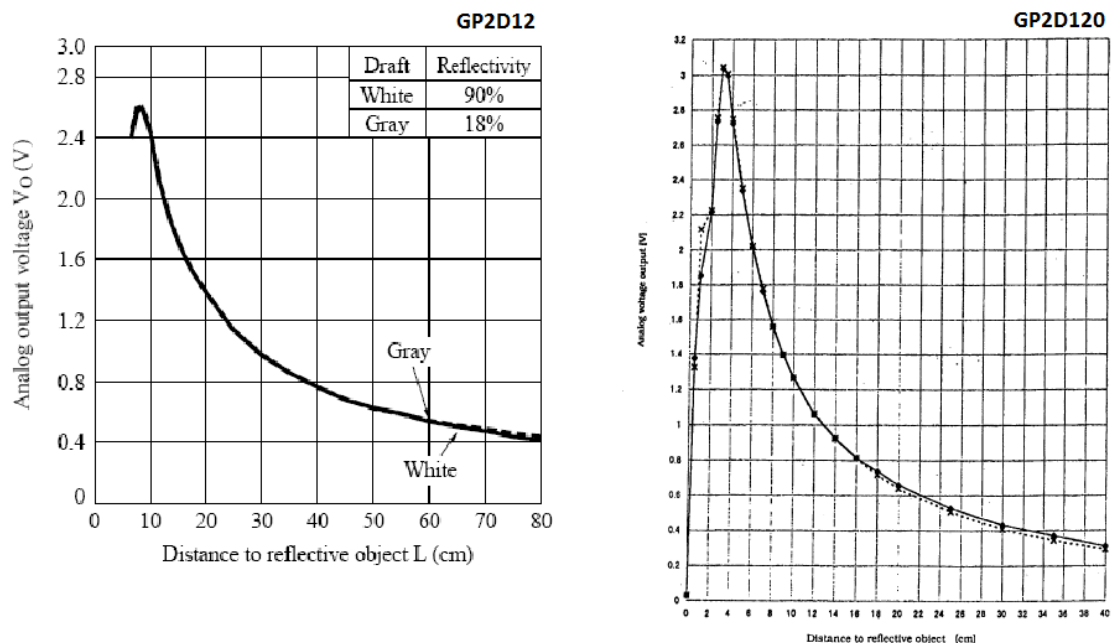


Figura 7.2: Curvas de respuesta de GP2D12 y GP2D120

Se optó por transformar la señal analógica de salida de los sensores infrarrojos en una señal digital. Esta señal digital que tomará valor alto ("1") cuando el objeto se encuentre a una distancia igual o menor a un valor dado, y valor bajo ("0") cuando no se detecte objeto. Para ello se utiliza el amplificador operacional LM324 configurado como comparador. El cual se encargará de comparar la señal de tensión emitida por el sensor con una tensión de referencia impuesta por un potenciómetro, colocado a modo de divisor de tensión en la pata negativa del amplificador, de forma que si la tensión suministrada por el sensor es mayor a la dispuesta a través del potenciómetro se detectará un objeto.

Esta tensión de referencia se ajustará para que se detecten las distancias deseadas, dependiendo de la función que cumpla el sensor, ya sea detectar al contrario, el borde del campo, piezas en el suelo, etc.

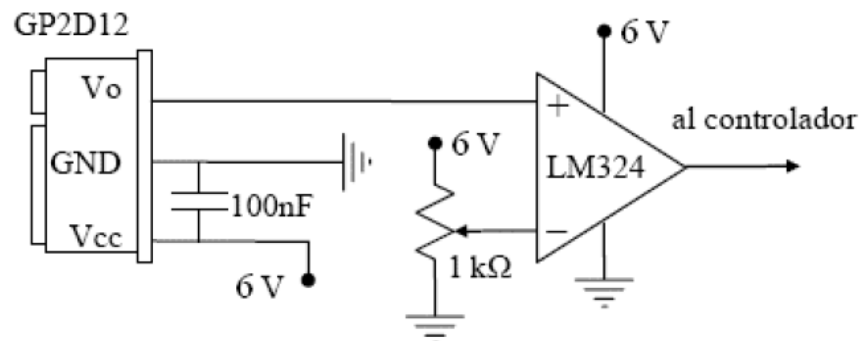


Figura 7.3: Circuito comparador de la señal de salida del sensor

- *Sensor de contacto o Bumper:*

Los sensores de contacto son dispositivos que actúan a modo de interruptores que se activan o desactivan si se encuentran en contacto con un objeto, de esta manera se reconoce la presencia de un objeto en un determinado lugar. Se pueden encontrar varias configuraciones posibles, pero principalmente se componen de dos partes: en cuerpo, donde se encuentra un conmutador de 2 posiciones, y una palanca de accionamiento, que detecta la pulsación.

Dispondrán de tres terminales que se conectarán dependiendo del circuito de acondicionamiento que se le quiera dar al sensor. Estos terminales son:

- 1) Común (COM): Terminal que estará unido a alimentación o a tierra dependiendo de la aplicación.
- 2) Normalmente abierto (NA): Se cierra el circuito al pulsar el bumper.
- 3) Normalmente cerrado (NC): Se abre el circuito al pulsar el bumper.

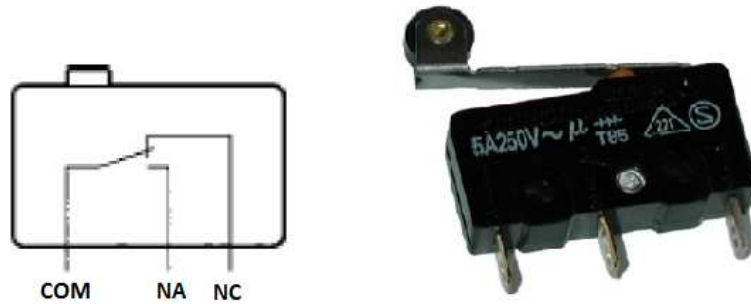


Figura 7.4: Detalle Bumper

Se utilizó el terminal normalmente abierto con la señal de alimentación en el común. De este modo, si un bumper es pulsado se enviará un “1” lógico al sistema de control. Este tipo de sensor se ha utilizado en dos aplicaciones en nuestro robot: como sensor de final de carrera de la bandeja retráctil, y como detector por contacto de los dispensadores.

- Ratón óptico:

Con la finalidad de ser utilizados como sensores odométricos se compraron dos ratones ópticos modelo MI-2520p de la marca Trust. Se seleccionó este modelo debido a su tamaño reducido, lo que los hacía ideales dada nuestra limitación de espacio libre en la base.



Figura 7.5: Ratón

Para su utilización se desmontaron y se retiró la parte del circuito impreso que no necesitábamos, es decir, todo aquello que no tuviera que ver con el emisor y receptor óptico, como son los pulsadores y los anclajes a la carcasa original. De esta manera se redujo aun más el tamaño útil de los ratones.

Por otro lado, para su correcto funcionamiento era necesario mantener la altura respecto del suelo que necesita el sensor para detectar el haz luminoso correctamente, esta altura era de 1.5 mm.

Para anclar los ratones a la base, asegurar la altura de medida requerida y aislar el sensor óptico de la luz ambiente, se diseñaron y construyeron dos cajas de aluminio. Estas se realizaron sobre una misma lámina de aluminio, donde se dibujaron las plantillas y posteriormente se plegaron las esquinas, quedando con unas dimensiones de 5 x 8,5 cm (ver figura).

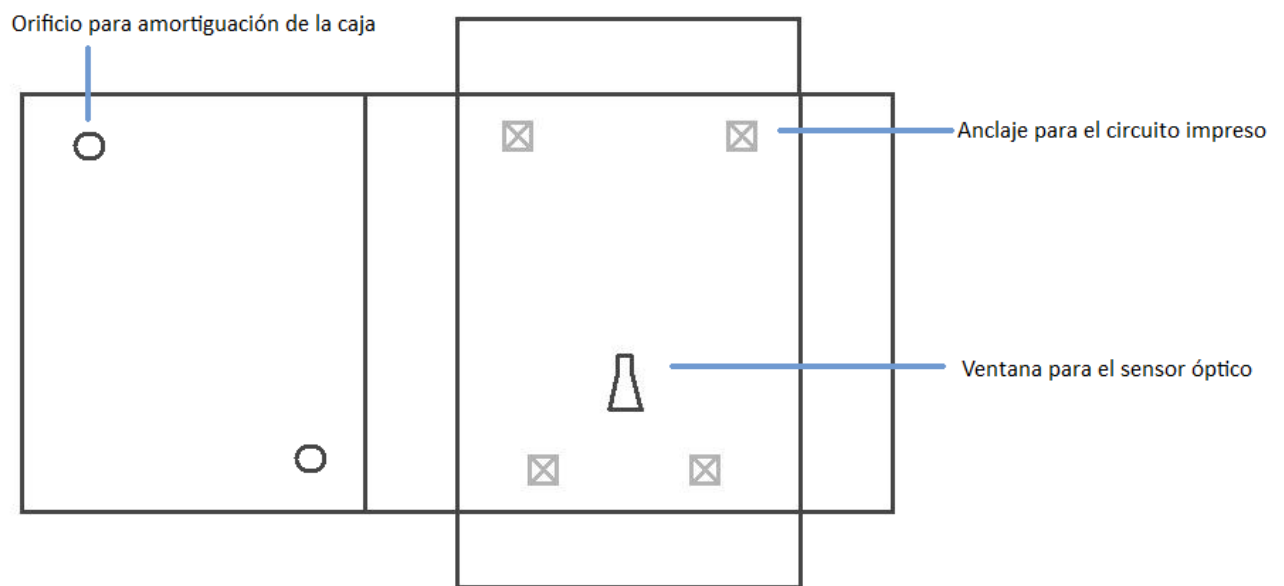


Figura 7.6: Plantilla de caja para ratón

En el interior de las cajas se situaron unos anclajes mediante los cuales se fijarían los circuitos impresos, a los que se les realizaron los taladros pertinentes. Estos anclajes se muestran en la figura. Para aislar correctamente el sensor óptico respecto a luz ambiente y reflejos en el aluminio se forró el interior de color negro, y la superficie exterior se forró con fieltro para mejorar el deslizamiento.

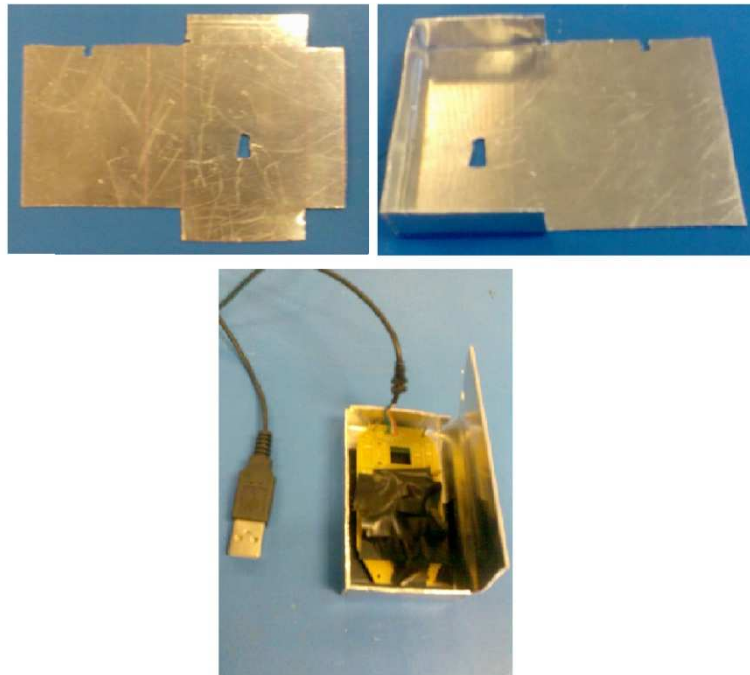


Figura 7.7: Detalle construcción caja para ratón modificado

Finalmente, para poder fijar las cajas a la base del robot se utilizaron unas varillas cilíndricas de acero fijas en el interior de la caja y pasantes a través de los orificios realizados en la tapa (ver figura 7.6). A modo de suspensión, para que el ratón estuviera en contacto permanente con el suelo, se utilizaron unos muelles sujetos con un tornillo prisionero en el otro extremo de las varillas, en el interior del robot.

- *Encoders:*

Un encoder óptico es un sensor que permite registrar el movimiento de rotación de un eje, convirtiendo una magnitud, ya sea posición lineal o angular, en una señal digital. Con este dispositivo se puede conocer la velocidad de giro, distancia recorrida, posición y sentido de giro de un eje, ya que el encoder gira solidario a este.

Su funcionamiento se basa en el uso de optoacopladores (conjuntos formados por un diodo fotoemisor y un transistor fotorreceptor). Estos captarán los cambios de luz producidos por el giro de un disco con una retícula formada por franjas opacas y transparentes, generando una señal eléctrica proporcional a estas variaciones de luz. Es común utilizar dos señales desfasadas 180° eléctricos de modo diferencial para obtener una lectura más limpia y estable. Se usan principalmente en control de motores, articulaciones de robots o en sistemas de medida.

Existen dos tipos de encoders ópticos dependiendo del tipo de señal de salida que entregan. Pudiendo ser encoders incrementales o absolutos.

- Encoder incremental:

Este tipo de encoder proporciona una salida serie con el ángulo de rotación del eje cuando este se está moviendo. Esta señal de salida consiste en una onda cuadrada, y en función de esta señal se pueden diferenciar dos tipos: unidireccionales, que solo dan una onda de salida (A) y no pueden determinar el sentido de giro; y los bidireccionales, que proporcionan dos ondas cuadradas (A y B) con las que se obtiene el sentido de giro a partir de la diferencia de fase entre ellas. Estos últimos también pueden disponer de una señal de paso por cero (Z), útil para conocer una posición inicial del eje.

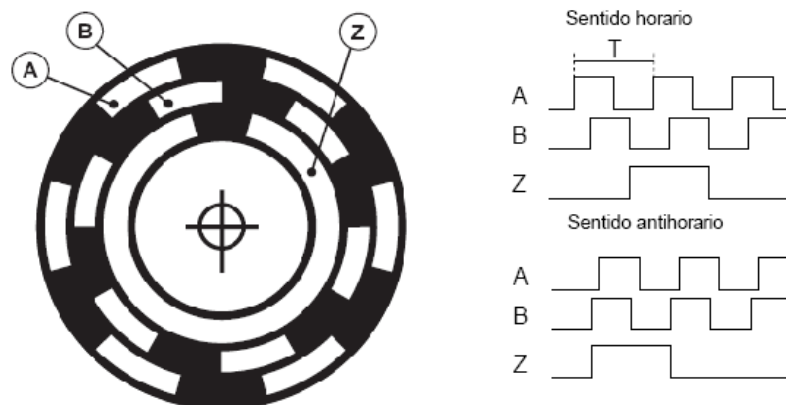


Figura 7.8: Encoder incremental bidireccional y señales de salida

La resolución se mide por el número de pulsos de la salida por cada revolución del eje. De manera que cuantas más ranuras tenga el disco, mayor será la resolución del encoder. Aunque esta resolución se verá afectada por errores en la forma del disco, los rodamientos o en la lectura del haz luminoso.

Son los más sencillos y baratos, pero tienen en su contra que no se pueden leer cuando el eje está parado y es necesario disponer de un contador para conocer la posición del eje.

- Encoder absoluto:

La salida de esta familia de sensores se realiza en paralelo, indicando la posición angular del eje codificada en BCD (código Binario Codificado Decimal) ó en código Grey. Cada bit de salida está generado por un optoacoplador, por lo que se necesitan tantos sensores como bits del fondo de escala. En esta clase de sensores los discos codifican la salida mediante la anchura y la distribución de las ranuras, franjas o pistas.

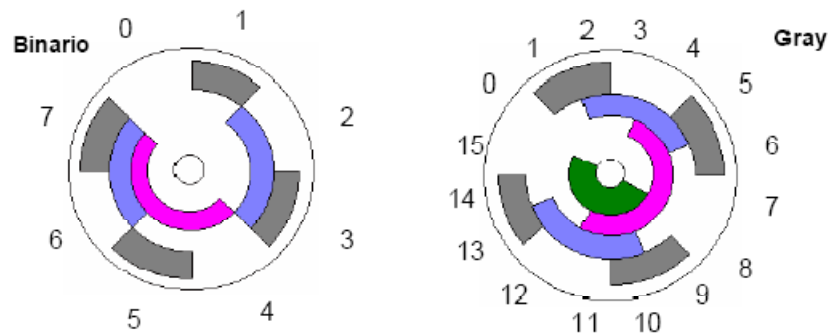


Figura 7.9: Encoder absoluto

Son más precisos que los incrementales, pueden ser leídos cuando el eje no está en movimiento y se conoce la posición de inicio al arrancar. Pero en contra tienen su mayor precio y complejidad, con lo que son más sensibles a pequeños errores en la retícula del disco.

Para la aplicación que se plantea aquí se utilizaron los encoders que incorporaban los motores seleccionados, en particular son del modelo EB502C12 de la marca Bernio. Estos son encoders incrementales bidireccionales, con lo que disponíamos de dos señales con las que conocer el sentido de giro. Pero como este dato ya es conocido, ya que en el control de los motores el sentido de giro es una señal de entrada generada por el sistema de control, solo utilizamos la señal A para conocer la distancia girada por los motores. Este tipo de encoder necesita una alimentación por encima de la mitad de la alimentación del motor, por lo que se decidió alimentarlos a 7.5 V para evitar errores.

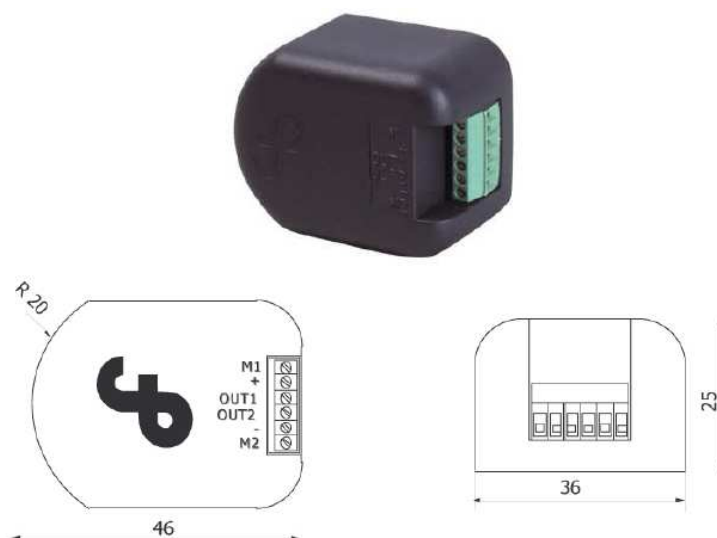


Figura 7.10: Encoder modelo EB502C12

El circuito interno y conexionado de este modelo de encoder son los siguientes:

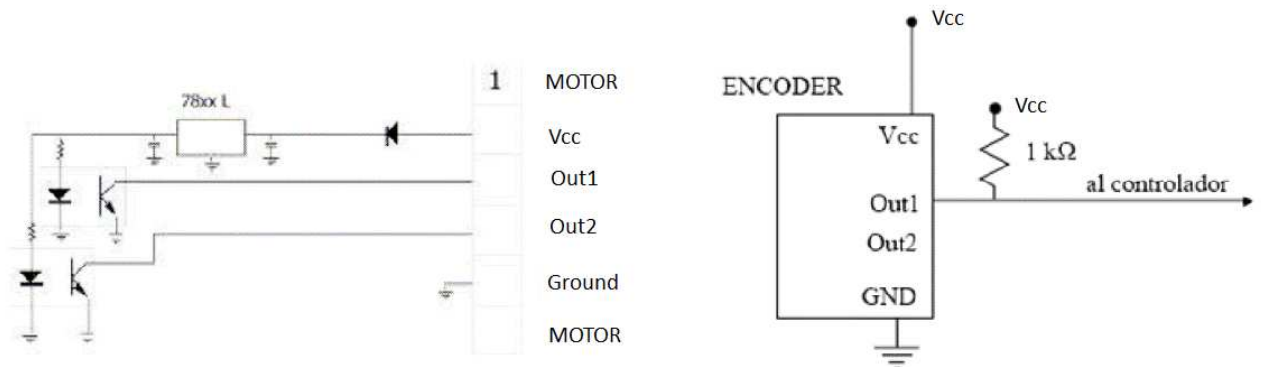


Figura 7.11: Circuito interno y conexionado del encoder modelo EB502C12

7.2 Sistema de localización

El sistema de localización, como se detalla en el Capítulo 2.2, tiene el cometido de recoger información del entorno en el que se encuentra el robot con la que determinar su posición y orientación. Sin este “conocimiento” el microrobot no sería capaz de enfrentarse al juego, dirigiéndose a por las piezas y las zonas de edificación, ni de evitar los obstáculos que se encuentre en el camino.

Dentro de los tipos de sistemas de localización y posicionamiento, decidimos utilizar dos: odometría para el registro del movimiento (cuenta de pasos, control de velocidad y de la dirección), y un sistema de percepción del entorno, para conocer la posición respecto los bordes del campo.

- *Sistema odométrico:*

El sistema odométrico será el encargado de dar información al robot sobre los desplazamientos que realice. Este método consiste en integrar la trayectoria recorrida a partir de algún tipo de medida internas, ya sea la velocidad, cambios de orientación o el número de vueltas dadas por las ruedas. El método más común es el uso de encoders que cuenten en número de pasos dados por las ruedas. [15]

Mediante este método se pretendía controlar los movimientos rectilíneos y los giros, ya sean radiales o rotatorios. Nuestra primera opción fue el uso de dos ratones ópticos situados en la base del robot (ver Capítulo 7.1), esta configuración permite el registro del movimiento real del robot, ya que no depende de posibles derrapes de las ruedas o desplazamientos laterales debidos a colisiones con otro robot.

Pero tras varias pruebas los resultados no fueron tan buenos como se esperaba, posiblemente debido a errores en la construcción de las cajas y la situación de los ratones. Por lo que por falta de tiempo, se decidió utilizar el juego de encoders que nos ofrecían los motores, a pesar del inconveniente del error acumulado son un sistema robusto y muy probado, además de fácil de utilizar y que no requería ningún tipo de modificación de la estructura del robot.

Mediante el uso de los encoders podemos controlar la distancia recorrida en los desplazamientos rectilíneos contando los pasos dados, pues se conoce la distancia equivalente, con lo que la localización es muy sencilla. El caso de los giros es similar, en número de pasos necesarios se conoce de ante mano, pues se registran los giros deseados en el laboratorio. Con lo que se habrá realizado el giro deseado cuando el número de pasos contados corresponda con el registro.

- *Sistema de percepción del entorno:*

Con el sistema odométrico se puede controlar fácilmente la navegación por el campo de juego, pero para conocer con más detalle la posición del robot necesitamos otro sistema. Para ello se instaló un sistema de percepción del entorno basado en sensores infrarrojos de la gama GP2Dxx de Sharp (ver Capítulo 7.1) y sensores de contacto tipo Bumper. Con el uso de estos sensores se controla el perímetro del microrobot, conociendo de esta manera su situación respecto los bordes del campo, las zonas de edificación, el robot rival o las piezas diseminadas por el tablero.

Se utilizaron sensores GP2D12 para la detección de los elementos del campo de juego y el robot rival, ya que nos permiten una detección a mayor distancia. El límite inferior del umbral de medida, en este modelo 10 cm, no es un problema, ya que se necesita que el robot reaccione con tiempo suficiente y 10 cm es una buena distancia de seguridad. Los GP2D12 se colocaron de la siguiente manera:

- Detección de elementos del campo:

Se instalaron 7 sensores en total en el perímetro del robot con este fin.

- a) Dos sensores en la parte delantera, dos en la trasera y uno encada lateral a una altura de 4.5 cm con el fin de detectar el borde del campo.
- b) Los dos sensores de la parte delantera también tendrán la función de detectar la zona de edificación central. Para ello se realizan giros de izquierda a derecha, con lo que se lee una secuencia de detecciones del obstáculo, en la que tras dos positivos independientes, se da una situación en la que tenemos dos negativos.

Es entonces cuando el robot está correctamente situado frente a la zona de edificación de nivel 3. Esta secuencia queda reflejada en la siguiente tabla.

GIRO	SENSOR IZQUIERDA	SENSOR DERECHA
INICIAL	Detección	Detección
IZQUIERDA	0	1
DERECHA	1	0
IZQUIERDA	0	0

- c) Bajo el sensor trasero-izquierdo se situó un sensor más, a una altura de 1 cm respecto del suelo. Esta pareja se encarga de diferenciar si el objeto que el robot tiene delante es una pieza dispuesta en el suelo o es una zona de edificación. Si solo se activa el sensor inferior, se trata de una pieza, si se activan los dos será una zona de edificación o un borde.

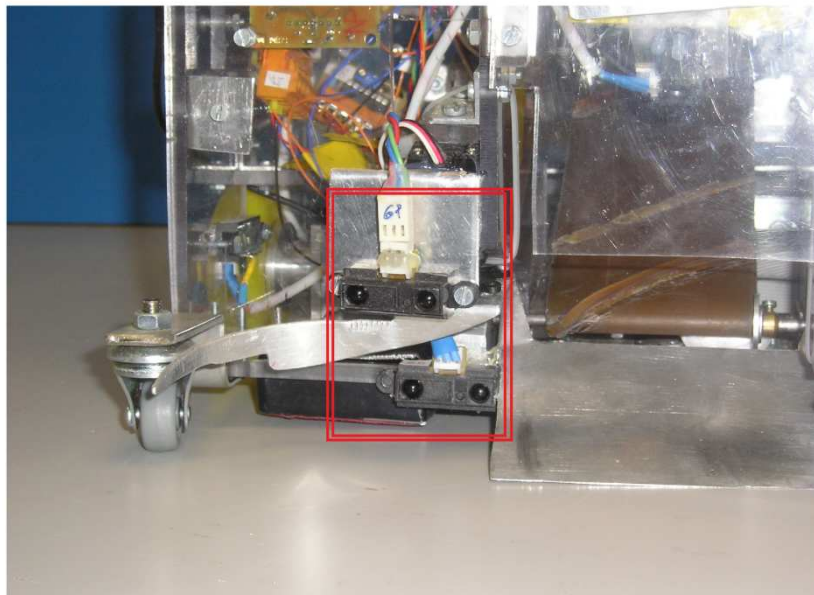


Figura 7.12: Pareja sensores detección de pieza

- Detección de rival:

Para la detección del rival se instalaron 4 sensores a una altura de 15 cm, dos delante y dos detrás. Con estos se puede evitar la colisión iniciando la rutina de evasión (ver capítulo 8.2), que puede ir desde simplemente detenerse a rodear al contrario.

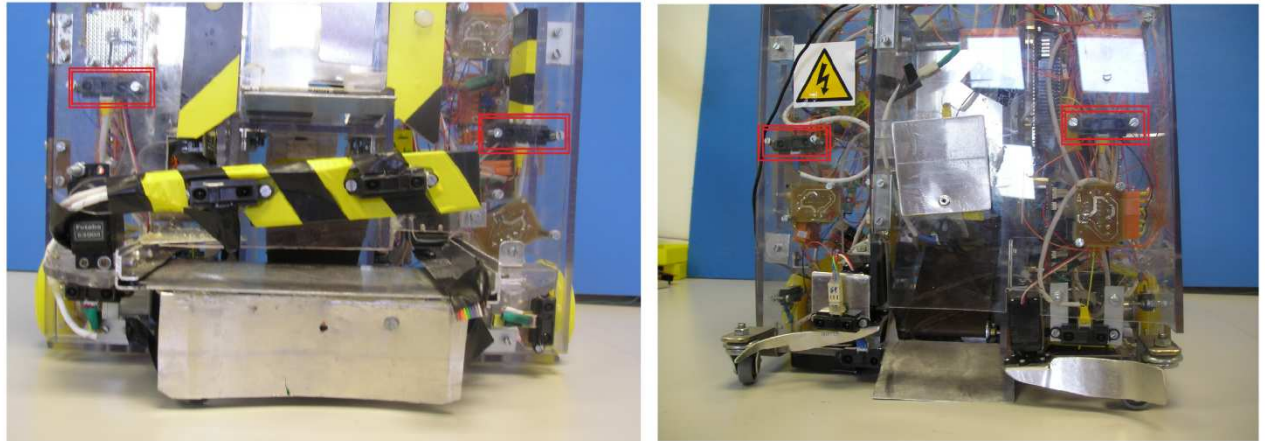


Figura 7.13: Sensores detección rival

Por otro lado, se utilizaron los sensores GP2D120 para situaciones donde se requiere una distancia menor de 10 cm. En total se utilizaron 3 de estos sensores en las siguientes situaciones:

- Detección de pieza en el suelo:

Para determinar si existe una pieza al alcance de las palas del robot, de manera que sea capaz de tomarlas para elevarlas. Este sensor se situó tras la pared de policarbonato en ángulo mirando hacia el suelo.

- Detección de piezas sobre zona de edificación:

Se situaron 2 sensores en la cara externa de la barrera que impide que las piezas se caigan de la bandeja retráctil. De esta forma evitamos derribar las construcciones existentes cuando el robot se acerca a la zona de edificación para depositar la construcción.

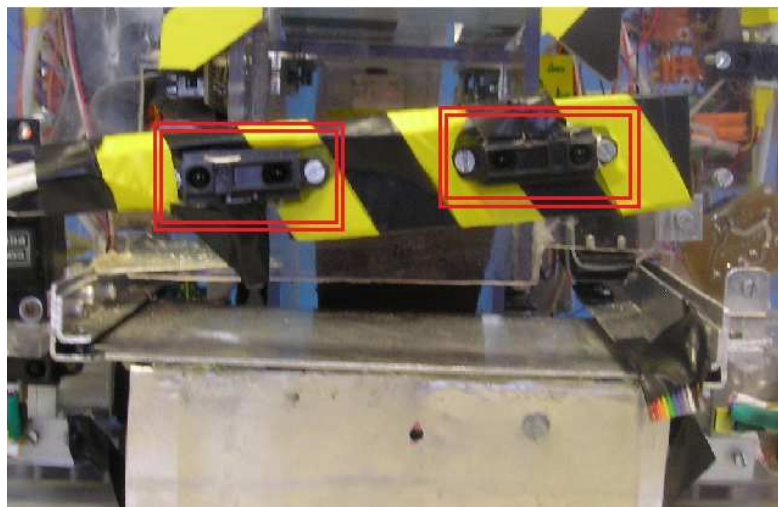


Figura 7.14: Sensores detección piezas en zona de edificación

En cuanto los sensores de contacto, se colocaron dos en el microrrobot. El primero se encuentra en la parte trasera de la bandeja retráctil, a modo de sensor de fin de carrera. El segundo se colocó en la parte trasera a modo de pulsador para la detección del dispensador de piezas. Para ello se instaló una placa cuadrada de aluminio, como se puede ver en la figura.



Figura 7.15: Pulsador para detección de dispensador

Con este conjunto de sensores el robot es capaz de conocer su posición en el campo, evitar una colisión con el robot rival y de detectar los elementos del campo que necesita para llevar a cabo las acciones del juego. En el siguiente capítulo se hará una descripción de la estrategia elegida para afrontar el problema de este año, donde se verá con más detalle el uso del conjunto de sensores descrito.

CAPÍTULO 8:

ESTRATÉGIA

La estrategia elegida desde un principio se centró en recoger las piezas dispuestas en el suelo en primer lugar para construir el templo resultante en la zona de edificación central. En segundo lugar se buscarán las piezas de los dispensadores para construir columnas en las zonas de edificación que queden libres.

Los movimientos de esta estrategia se depuraron de manera que los trayectos realizados nos permitan tomar el mayor número de piezas posible. Para seleccionar el color de juego se instaló un botón en la parte superior del robot, como se describe en el capítulo 5. Al accionar este botón se iniciará el programa correspondiente al juego del color seleccionado, ya sea rojo o verde. Ambas estrategias son simétricas y realizan las mismas acciones, por eso, solo se describirá el juego del equipo rojo.

8.1 Programa principal:

La secuencia a seguir jugando en el equipo rojo es la siguiente:

1. El sistema espera que retire la anilla.
2. El robot avanza y se orienta frente a las piezas situadas en el tablero de juego.
3. Se activa a rutina de recogida de piezas del suelo y se construyen dos columnas.
4. Se activa la rutina de búsqueda de la zona de edificación del centro y se procede a chocar contra ella.
5. Una vez se han depositado las columnas, se coloca el dintel y el robot se retira rápidamente.

6. EL robot se orienta hacia la cara posterior del campo y avanza hasta que se encuentre a 15 cm de ese borde. Para ello se utilizan los sensores infrarrojos de la cara posterior.
7. Se realiza un giro hasta orientarse hacia el lado del equipo rival del campo y se avanza hasta que los sensores infrarrojos detecten el borde a 15 cm. Se repite el proceso hasta llegar al dispensador rojo situado en ese lado del campo.
8. Se procede a la recogida de 4 piezas del dispensador. A continuación se realiza un giro de 180° y se busca la zona de edificación central.
9. En el caso de que no exista hueco disponible se buscará la zona de edificación de nivel 2.
10. Si queda tiempo, se buscará el dispensador situado en la esquina delantera del campo de igual manera que el anterior, manteniendo una distancia de 15 cm respecto del borde utilizando los sensores infrarrojos. Se tomarán otras cuatro piezas y se colocaran en la zona de edificación de nivel 2.

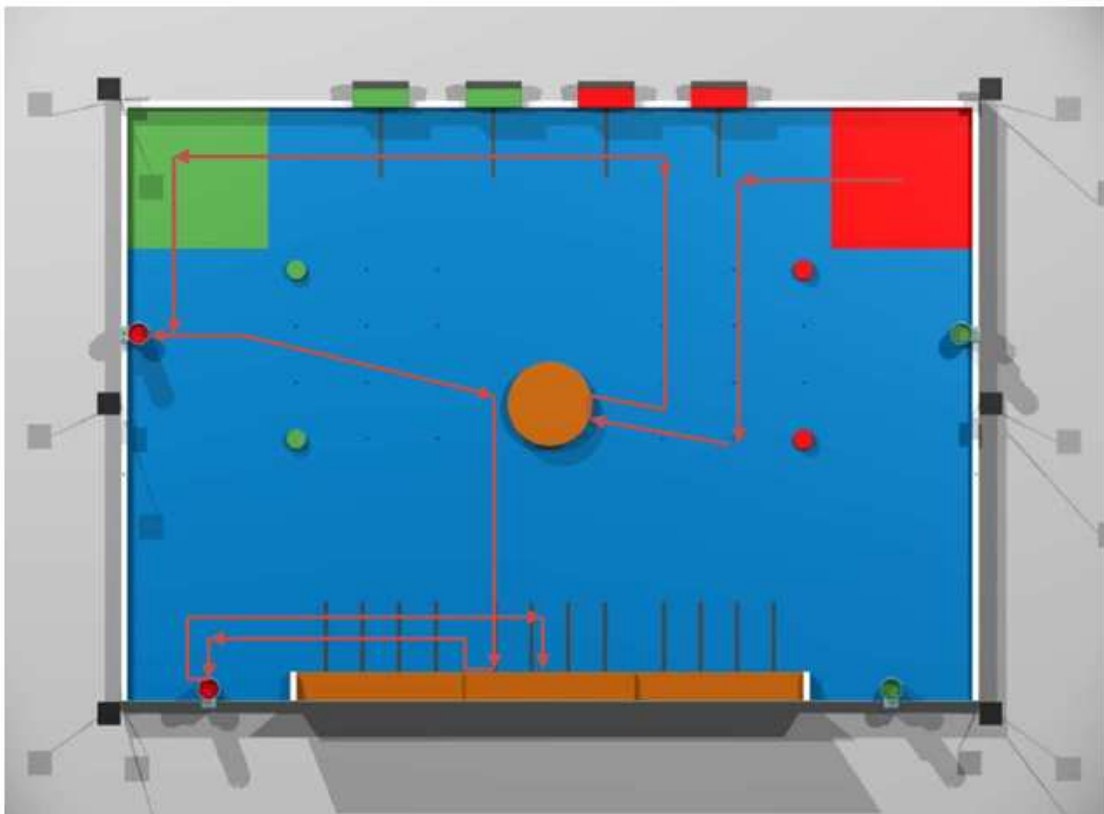


Figura 8.1: Recorrido estrategia principal

8.2 Rutina de evasión:

La rutina de evasión se activará si se activa alguno de los sensores destinados a detectar al robot rival. En este caso, se procede a detener temporalmente la rutina principal. Esta secuencia consta de los siguientes pasos:

1. Se detienen los motores.
2. Se espera un segundo.
3. Si el obstáculo ha desaparecido, se continúa la rutina. Si el obstáculo continua delante se rodea utilizando los sensores destinados a la detección de los bordes del campo.

CAPÍTULO 9:

CONCLUSIONES Y MEJORAS

9.1 Conclusiones

La idea inicial era construir un robot que fuera lo más sencillo y robusto posible, de manera que se evitaran errores debidos a sistemas o estrategias demasiado complejos que echaran a perder un partido completo. Es por ello por lo que se necesitaba un medio de locomoción fiable que permitiera realizar movimientos con una buena relación sencillez/precisión; y un sistema de localización que aportara toda la información posible al robot, sin por ello complicar las rutinas de control.

Estas premisas se intentaron plasmar en el diseño de ambos sistemas y, a priori, se consiguió satisfactoriamente. Gracias al sistema de tracción diferencial podíamos realizar cualquier tipo de movimiento de manera rápida y sencilla. Y sistema de posicionamiento basado en odometría y un perímetro de sensores infrarrojos garantizaba conocer la ruta seguida y la presencia de cualquier obstáculo en torno al robot.

Tras la experiencia obtenida en los encuentros nacionales e internacionales, se observan errores cometidos en las fases iniciales del proyecto. Instalar sistemas pequeños y sencillos poco a poco es preferible a diseñar sistemas complejos e instalarlos sin tener pleno conocimiento de la respuesta real. Por otro lado, hubiera sido conveniente realizar más pruebas en el laboratorio para controlar el mayor número de situaciones posibles, y así conocer mejor los puntos flacos de las ideas planteadas. Con lo que se habrían evitado problemas de calibración y programación surgidos durante la competición.

9.2 Mejoras

Una vez se han observado los puntos fuertes y débiles de los sistemas locomotor y de localización del microrobot podemos plantear las siguientes mejoras:

1. El diseño e implantación de un sistema de localización por balizas. El cual permitiría un conocimiento preciso de la situación del robot en el terreno de juego.
2. Depuración del diseño de los ratones ópticos modificados, ya que un mejor uso de este tipo de sensor para un sistema odométrico permite una mayor precisión en las medidas. Además de su uso no solo en un sistema de odometría, si no el diseño de otros métodos, como puede ser la división del campo en cuadrantes y posicionamiento por las lecturas de los ratones.
3. El posible uso de una brújula electrónica permitiría conocer con precisión los movimientos realizados por el robot y su orientación dentro del campo.

CAPÍTULO 10:

PRESUPUESTO

En este capítulo se detallarán los costes derivados del diseño y construcción del microrobot “Iron-Paco”. En él se incluirán tanto los gastos originados por la compra de materiales como la mano de obra necesaria para la ejecución del proyecto. Todas las cantidades mostradas a continuación estarán en Euros.

Los precios unitarios de material que aparecen en los siguientes apartados son orientativos y pueden verse modificados en función del modo de compra, lugar de compra y número de unidades de compradas.

10.1 Conste de material

10.1.1 Estructura:

Concepto	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Lamina de policarbonato estruido, transparente, de 5mm de espesor	m ²	2	85,6	171,2
Ángulo de aluminio de 3mm de espesor (250mm x 250mm)	ml	1	5,1	5,1
Bisagra de aluminio de 1 y 3/4"	ud.	7	0,18	1,26
Material de ferretería	varios	1	30	30
TOTAL ESTRUCTURA				207,56

10.1.2 Sistema de construcción:

Concepto	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Servomotor Futaba S-3003 Standard	ud.	6	10,79	64,74
Motor reductor de corriente continua 12V 200 r.p.m.	ud.	1	29,46	29,46
Plancha de aluminio de 1,5mm de espesor	m ²	2	80,25	160,5
Cinta de caucho (70mm x 2mm)	ml	2	9,3	18,6
Ángulo de aluminio de 1,5mm de espesor (200mm x 200mm)	ml	2	4,3	8,6
Fleje (20mm x 330mm)	ud.	1	1,2	1,2
Eje torneado	ud.	1	51,3	51,3
Varilla de acero de 5mm de diámetro	ml	1	4	4
Varilla roscada de aluminio de 4mm	ml	1	5,3	5,3
Estructura de apoyo de aluminio	ud.	2	27,8	55,6
TOTAL CONSTRUCCIÓN				399,3

10.1.3 Sistema electrónico y de control:

Concepto	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Placas de circuito de impreso (microcontrolador y drivers)	ud.	2	150	300
Placas de circuito de impreso (Potencia y Acondicionamiento de señal multiple)	ud.	4	70	280
Placas de circuito de impreso (Acondicionamiento de señal simple)	ud.	9	30	270
Bateria Yuasa NPH5-12 de 12V y 5Ah	ud.	2	31,58	63,16
Placa base	ud.	1	215,13	215,13

Microcontrolador 5082	ud.	2	18,3	36,6
Bobina de conexionado varios (0,25mm 10mtr)	ud.	3	1,32	3,96
Bobinas cable alimentación 0,5 mm (10mtr)	ud.	2	1,4	2,8
Sensor de infrarrojos GP2D12	ud.	14	14,56	203,84
Sensor de infrarrojos GP2D120	ud.	6	18,68	112,08
Sensor de final de carrera (Bumper)	ud.	2	1,3	2,6
Ratón óptico Trust	ud.	2	12,7	25,4
Pulsador de parada de emergencia	ud.	1	19,48	19,48
Protector helicoidal para cables	ml.	10	0,57	5,7
Componentes electrónicos	varios	1	48,4	48,4
TOTAL ELECTRÓNICA				1589,15

10.1.4 Sistema Locomotor:

Concepto	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Motores con y reductora encoders incorporados	ud.	2	178	356
Pack 4 ruedas	ud.	1	25	25
Rueda loca central	ud.	1	4,7	4,7
Rueda loca delantera con soporte de acero incluido	ud.	2	38,2	76,4
Casquillos	ud.	2	30,3	60,6
TOTAL LOCOMOTOR				522,7

10.1.5 Campo de pruebas:

Concepto	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Tablero de DM	ud.	1	550	550
Listones de madera	ud.	10	2,35	23,5
Material de ferretería	varios	1	25,5	25,5
Pintura azul	ud.	1	11	11
Lámina de plexiglas transparente de 3mm de espesor	m ²	2	15	30
TOTAL CAMPO				640

10.2 Coste de personal:

Concepto	Sueldo mensual	Meses	Total
Ingeniero Técnico Industrial	1500	7	10500
Ayudante	500	7	3500
Total antes de impuestos			14000
TOTAL			18060

10.3 Presupuesto total:

Concepto	Total
Coste de material	3358,71
Coste de personal	18060,00
TOTAL	21418,71

CAPÍTULO 11:

BIBLIOGRAFÍA

11.1 RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS

- [1] *MOBILE ROBOTS*; Joseph L. Jones, Anita M. Flynn y Bruce A. Seiger; A K Peters LTD.
- [2] *FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA*; Antonio Barrientos, Luis Felipe Peñín, Carlos Balaguer y Rafael Arcil; McGrawHill.
- [3] *AUTONOMOUS ROBOTS*; George A. Bekey; MIT Press.
- [4] *BREVE ESTUDIO DE LA ROBÓTICA*; Guillermo Mancheno; Universidad Internacional de Ecuador.
- [5] *SISTEMA DE CONTROL DE TRACCIÓN Y POSICIONAMIENTO DE UN MICROROBOT, EUROBOT 2008*; Roberto Apéstigue Oreja; Universidad Carlos III de Madrid.
- [6] *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICROROBOT, EUROBOT 2008*; Pablo Escribano García; Universidad Carlos III de Madrid.

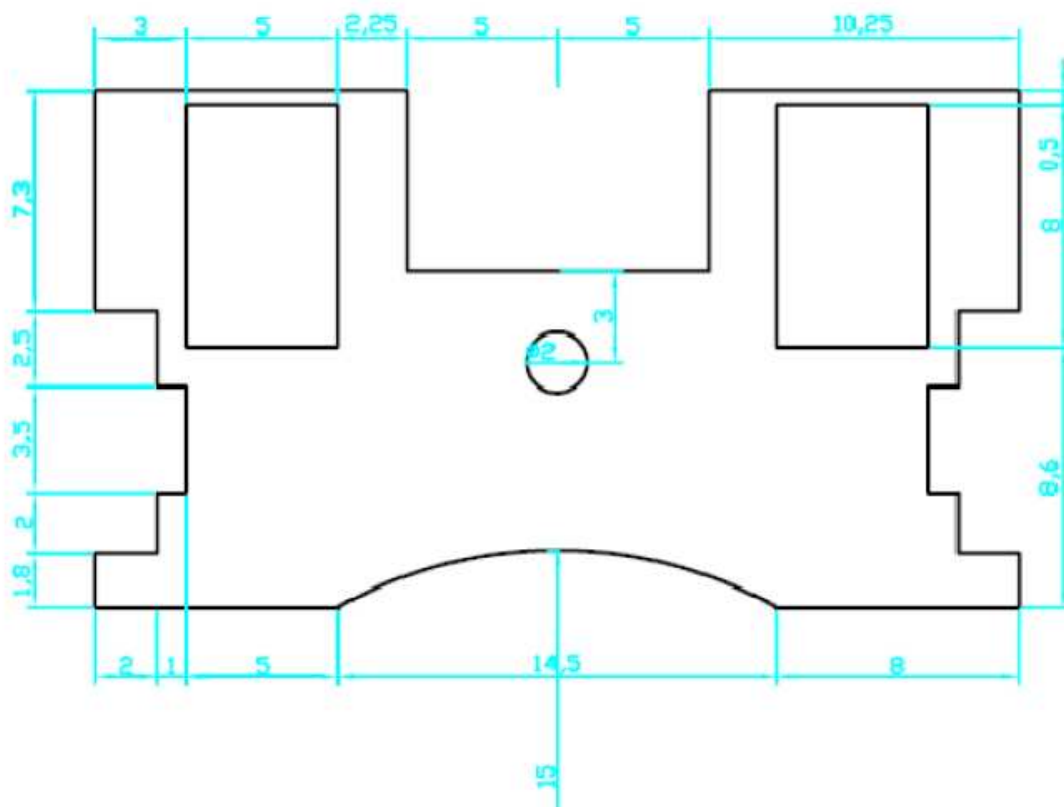
11.2 Recursos electrónicos

- [7] <http://www.eurobot.org/es/>
- [8] <http://www.futba-rc.com/>
- [9] <http://www.bernio.it/>
- [10] <http://alcabot.org/eurobot/eurobot.html/>
- [11] <http://www.superrobotica.com/>
- [12] <http://www.yuasa.com.tw/english/vrlafile/NPH5-12.htm/>
- [13] <http://www.x-robotics.com/>
- [14] <http://es.wikipedia.org/wiki/GPS/>
- [15] <http://es.wikipedia.org/wiki/Odometría/>
- [19] <http://www.webdearde.com/>
- [20] <http://es.wikipedia.org/wiki/Robot/>
- [21] <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor/>

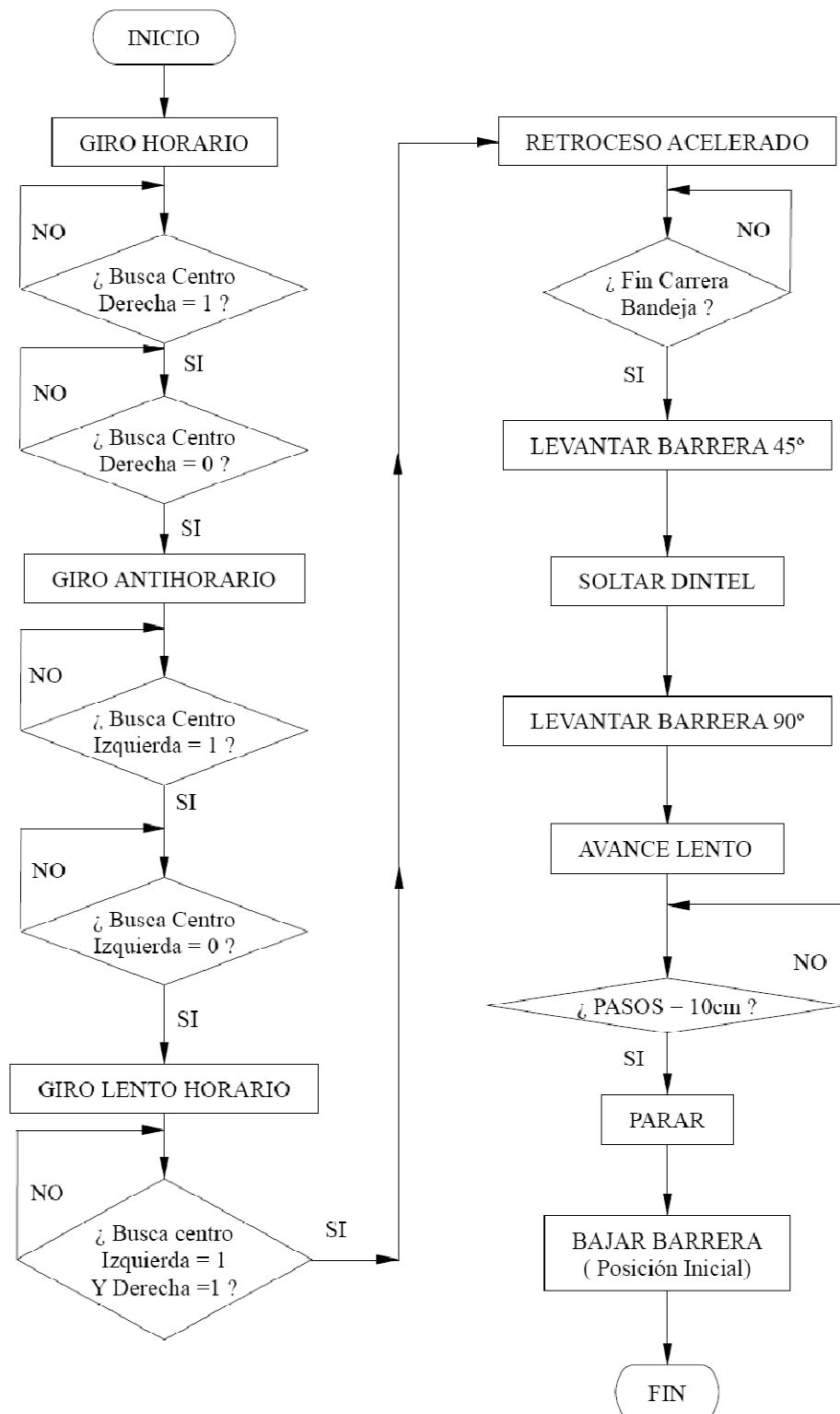
CAPÍTULO 12:

ANEXOS

12.1 Dimensiones de la base



12.3 Diagrama de flujo de edificación en zona 3



12.3 Hoja de características GP2D12

SHARP

GP2D12/GP2D15

GP2D12/GP2D15

General Purpose Type Distance Measuring Sensors

■ Features

1. Less influence on the color of reflective objects, reflectivity
2. Line-up of distance output/distance judgement type
Distance output type (analog voltage) : GP2D12
Detecting distance : 10 to 80cm
Distance judgement type : GP2D15
Judgement distance : 24cm
(Adjustable within the range of 10 to 80cm)
3. External control circuit is unnecessary
4. Low cost

■ Applications

1. TVs
2. Personal computers
3. Cars
4. Copiers

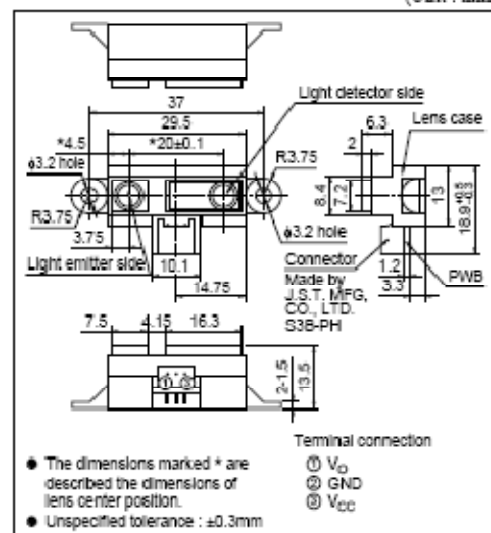
■ Absolute Maximum Ratings

(Ta=25°C, Vcc=5V)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V _{CC}	-0.3 to +7	V
Output terminal voltage	V _o	-0.3 to V _{CC} +0.3	V
Operating temperature	T _{op}	-10 to +60	°C
Storage temperature	T _{stg}	-40 to +70	°C

■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



SHARP

GP2D12/GP2D15

■ Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Operating supply voltage	V_{CC}	4.5 to +5.5	V

■ Electro-optical Characteristics

($T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{CC}=5\text{V}$)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Distance measuring range	ΔL	*1 *3	10	—	80	cm
Output terminal voltage	GP2D12 V_O	$L=80\text{cm}$ *1	0.25	0.4	0.55	V
	GP2D15 V_{OH}	Output voltage at High *1	$V_{CC}-0.3$	—	—	V
	GP2D15 V_{OL}	Output voltage at Low *1	—	—	0.6	V
Difference of output voltage	GP2D12 ΔV_O	Output change at $L=80\text{cm}$ to 10cm *1	1.75	2.0	2.25	V
Distance characteristics of output	GP2D15 V_O	*1 *2 *4	21	24	27	cm
Average Dissipation current	I_{CC}	$L=80\text{cm}$ *1	—	33	50	mA

Note) L : Distance to reflective object.

*1 Using reflective object : White paper (Made by Kodak Co. Ltd. gray cards R-27 : white face, reflective ratio : 90%).

*2 We ship the device after the following adjustment : Output switching distance $L=24\text{cm}\pm 3\text{cm}$ must be measured by the sensor.

*3 Distance measuring range of the optical sensor system.

*4 Output switching has a hysteresis width. The distance specified by V_O should be the one with which the output L switches to the output H.

Fig.1 Internal Block Diagram

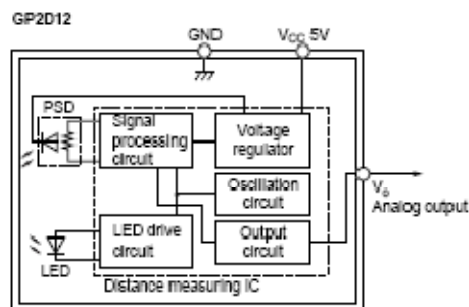


Fig.2 Internal Block Diagram

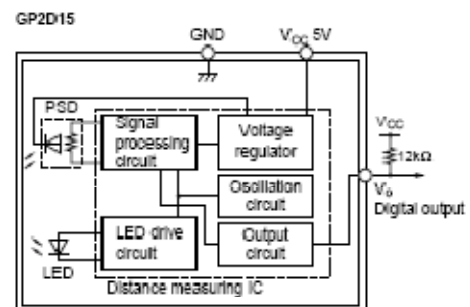
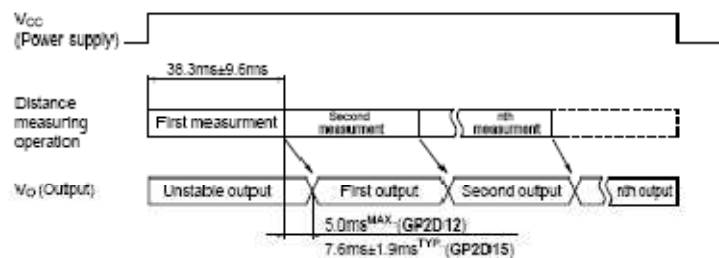
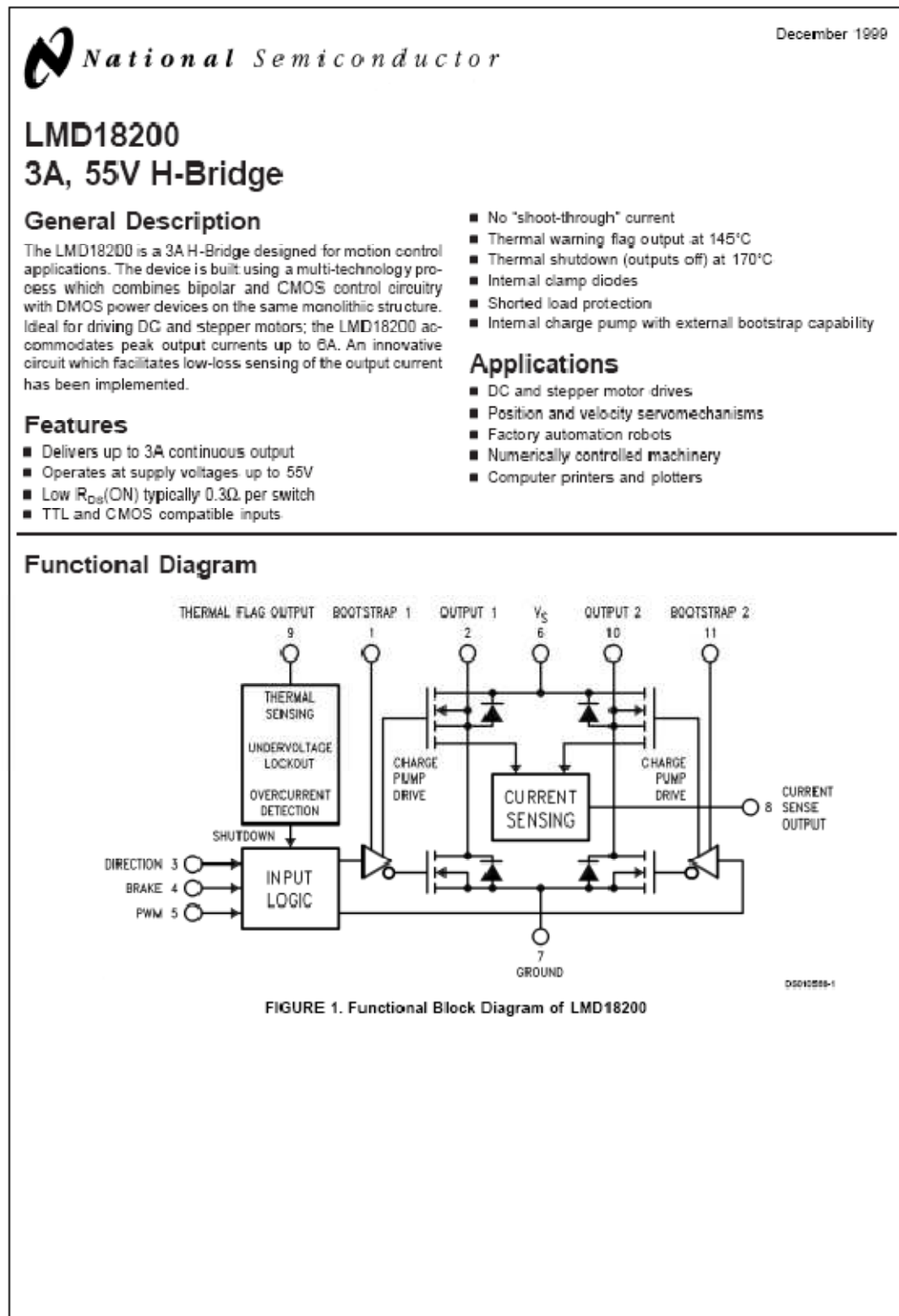


Fig.3 Timing Chart



12.4 Hoja características driver LMD18200T



Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Total Supply Voltage (V_{SS} , Pin 6)	60V
Voltage at Pins 3, 4, 5, 8 and 9	12V
Voltage at Bootstrap Pins (Pins 1 and 11)	$V_{OUT} + 16V$
Peak Output Current (200 ms)	6A
Continuous Output Current (Note 2)	3A
Power Dissipation (Note 3)	25W

Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$, Free Air)	3W
Junction Temperature, $T_{J(max)}$	150°C
ESD Susceptibility (Note 4)	1500V
Storage Temperature, T_{STG}	-40°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	300°C

Operating Ratings (Note 1)

Junction Temperature, T_J	-40°C to +125°C
V_{SS} Supply Voltage	+12V to +55V

Electrical Characteristics (Note 5)

The following specifications apply for $V_{SS} = 42V$, unless otherwise specified. Boldface limits apply over the entire operating temperature range, $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$, all other limits are for $T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$.

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Limit	Units
$R_{DS(ON)}$	Switch ON Resistance	Output Current = 3A (Note 6)	0.33	0.4/0.6	Ω (max)
$R_{DS(ON)}$	Switch ON Resistance	Output Current = 6A (Note 6)	0.33	0.4/0.6	Ω (max)
V_{CLAMP}	Clamp Diode Forward Drop	Clamp Current = 3A (Note 6)	1.2	1.5	V (max)
V_{IL}	Logic Low Input Voltage	Pins 3, 4, 5		-0.1 0.8	V (min) V (max)
I_{IL}	Logic Low Input Current	$V_{IN} = -0.1V$, Pins = 3, 4, 5		-10	μA (max)
V_{IH}	Logic High Input Voltage	Pins 3, 4, 5		2 12	V (min) V (max)
I_{IH}	Logic High Input Current	$V_{IN} = 12V$, Pins = 3, 4, 5		10	μA (max)
	Current Sense Output	$I_{OUT} = 1A$ (Note 8)	377	325/300 425/450	μA (min) μA (max)
	Current Sense Linearity	$1A \leq I_{OUT} \leq 3A$ (Note 7)	± 6	± 9	%
	Undervoltage Lockout	Outputs turn OFF		9 11	V (min) V (max)
T_{JW}	Warning Flag Temperature	Pin 9 $\leq 0.8V$, $I_L = 2\text{mA}$	145		$^\circ\text{C}$
$V_F(ON)$	Flag Output Saturation Voltage	$T_J = T_{JW}$, $I_L = 2\text{mA}$	0.15		V
$I_F(OFF)$	Flag Output Leakage	$V_F = 12V$	0.2	10	μA (max)
T_{JSD}	Shutdown Temperature	Outputs Turn OFF	170		$^\circ\text{C}$
I_S	Quiescent Supply Current	All Logic Inputs Low	13	25	mA (max)
t_{Don}	Output Turn-On Delay Time	Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	300 300		ns ns
t_{On}	Output Turn-On Switching Time	Bootstrap Capacitor = 10 nF Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	100 80		ns ns
t_{Off}	Output Turn-Off Delay Times	Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	200 200		ns ns
t_{Off}	Output Turn-Off Switching Times	Bootstrap Capacitor = 10 nF Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	75 70		ns ns
t_{pw}	Minimum Input Pulse Width	Pins 3, 4 and 5	1		μs
t_{cpr}	Charge Pump Rise Time	No Bootstrap Capacitor	20		μs